

CARLOS ROPELATTO FERNANDES

**PROGRAMAÇÃO DE CAMINHÕES PARA
O TRANSPORTE DE AVES DOMÉSTICAS PARA
O ABATE VIA A METAHEURÍSTICA GRASP**

CURITIBA

2005

CARLOS ROPELATTO FERNANDES

**PROGRAMAÇÃO DE CAMINHÕES PARA
O TRANSPORTE DE AVES DOMÉSTICAS PARA
O ABATE VIA A METAHEURÍSTICA GRASP**

*Dissertação apresentada como requisito parcial à
obtenção do grau de Mestre em Ciências do Pro-
grama de Pós-Graduação em Métodos Numéricos
em Engenharia dos Setores de Tecnologia e
Ciências Exatas, UFPR.*

Orientador: Prof. Dr. Celso Carnieri

CURITIBA

2005

TERMO DE APROVAÇÃO

CARLOS ROPELATTO FERNANDES

PROGRAMAÇÃO DE CAMINHÕES PARA O TRANSPORTE DE AVES DOMÉSTICAS PARA O ABATE VIA A METAHEURÍSTICA GRASP

Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre no Curso de Pós-Graduação em Métodos Numéricos em Engenharia - Área de Concentração em Programação Matemática, Setores de Tecnologia e de Ciências Exatas da Universidade Federal do Paraná, pela seguinte banca examinadora:

Orientador: Prof. Dr. Celso Carnieri
Programa de Pós-Graduação em Métodos Numéricos em Engenharia, UFPR

Prof. Dr. Ademir Aparecido Constantino
Programa de Pós-Graduação em Ciências da Computação, UEM

Prof. Dr. Julio Eduardo Arce
Departamento de Manejo Florestal, UFPR

Prof. Dr. Arinei Carlos Lindbeck da Silva
Departamento de Matemática, UFPR

Curitiba, 12 de setembro de 2005

A minha esposa
Paula,
pelas orações, para que Deus me
iluminasse, na solução do problema proposto,
e aos meus filhos,
Luan Carlos e Kauan Carlos,
cujos olhares me motivaram e
fortaleceram, na realização deste trabalho.

AGRADECIMENTOS

A Deus pelo dom da minha vida.

Ao prof. Dr. Celso Carnieri pela orientação dedicada.

A minha família pela compreensão e paciência nas longas noites e dias de estudo.

Aos meus pais Ivo e Lourdes, em especialmente a minha mãe que me incetivou a estudar.

Aos meus irmãos Wilson e Silvana pela nossa família.

Ao amigo prof. M. Daniel de Lima pelas horas de estudos e pela companhia de viagem.

A amiga prof.^a M. Maria Lauricéa pela dedicação e presteza nos vários momentos difíceis, e também por ajudar na correção e estruturação do trabalho.

Ao amigo Dr. Mauro Shimonishi por sua presteza.

A colega Claudia pela ajuda nas diversas viagens.

A prof.^a Miriam Resende que me incentivou a participar deste curso.

A amiga prof.^a M. Lucila Nagashima que indiretamente me ajudou.

A direção da FAFIPA pelo apoio financeiro.

A direção da FECILCAM que oportunizou a realização deste curso e em especial a secretária Glaucia sempre prestativa.

Aos colegas de curso pela amizade e companheirismo.

As empresas Avícola Felipe S/A e Trevizoli e Cia Ltda que abriram as portas para que fosse possível o desenvolvimento do trabalho.

“O homem que venceu na vida é aquele que viveu bem,
riu muitas vezes e amou muito;
que conquistou o respeito dos homens inteligentes
e o amor das crianças;
que deixou o mundo melhor do que o encontrou,
seja com uma flor, um poema perfeito ou
salvamento de uma alma
que procurou o melhor nos outros e
deu o melhor de si.”
(autor desconhecido)

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	ix
LISTA DE FIGURAS	x
RESUMO	xi
ABSTRACT	xii
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 Avicultura de Corte - Situação Atual e Tendências para os Próximos Anos . . .	2
1.1.1 Consumo Interno da Carne de Frango	3
1.1.2 Produção Mundial de Carnes Segundo a FAO	4
1.1.3 Exportações	6
1.2 Desenvolvimento do Trabalho	7
1.2.1 A Empresa Avícola Felipe S. A.	8
1.2.2 A Empresa Trevizoli e Cia Ltda	9
1.3 Objetivos do Trabalho	9
1.3.1 Objetivo Principal	9
1.3.2 Objetivos Complementares	10
1.4 Importância do Trabalho	10
1.5 Limitações do Trabalho	11
1.6 Estrutura do Trabalho	11
2 O SISTEMA INTEGRADO E O PROBLEMA DE ESPERA	13
2.1 O Sistema Integrado	13
2.2 O Problema de Espera	17
3 REVISÃO DA LITERATURA	26
3.1 Aplicações da Pesquisa Operacional ao Transporte	26
3.1.1 O Problema do Roteamento de Veículos com Janelas de Tempo	26
3.1.2 O Transporte Através de uma Frota de Caminhões	27
3.1.3 Uma Abordagem de Decomposição para um Problema de Programação de Veículo Multi-período	29
3.1.4 Um Sistema de Programação de Veículos para Melhorar a Eficiência nas Indústrias Florestais	30
3.2 Algumas Aplicações Desenvolvidas no Setor Avícola	35
3.2.1 Aplicação na Empresa Avícola Felipe S. A.	35
3.2.2 Aplicação na Empresa Frango SEVA Ltda	38

3.2.3	Aplicação na Empresa SADIA Concórdia S. A.	40
3.3	Metaheurísticas	46
3.3.1	Introdução	46
3.3.2	GRASP	46
3.3.3	Algumas Aplicações da Metaheurística GRASP	56
4	O MÉTODO HEURÍSTICO PROPOSTO	57
4.1	O GRASP Aplicado ao Problema de Espera	57
4.1.1	Simbologias e Nomenclaturas Utilizadas	57
4.1.2	Cálculo do Tempo de Viagem Vazio (TVV) e do Tempo de Viagem Carregado (TVC)	59
4.1.3	Função Objetivo	60
4.1.4	Fase Construtiva - Geração de uma Solução Inicial	65
4.1.5	Lista Restrita de Candidados - LRC	70
4.1.6	Fase de Busca Local - Solução Final	71
4.2	Implementação Computacional	72
5	AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS	73
6	CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	77
6.1	Conclusões	77
6.2	Sugestões para Trabalhos Futuros	78
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	79
A	RELAÇÃO DE INTEGRADOS DA AVÍCOLA FELIPE S. A. ATENDIDOS NO MÊS DE OUT 2004	86

Lista de Tabelas

1.1	PRODUÇÃO, EXPORTAÇÃO E CONSUMO MUNDIAL DE CARNES - ABR 2005	4
1.2	PRODUÇÃO DE CARNE DE FRANGO (EM MIL TON) - 2001 A 2005 . . .	6
1.3	EXPORTAÇÃO DE CARNE DE FRANGO (EM MIL TON) - 2001 A 2005 . .	7
2.1	QUANTIDADE DE CAMINHÕES DA EMPRESA TREVIZOLI CONFORME O TIPO E A CAPACIDADE MÁXIMA DE AVES - OUT 2004	18
2.2	QUANTIDADE DE GAIOLAS POR TIPO DE CAMINHÃO E CAPACIDADE MÁXIMA DE AVES POR GAIOLA	19
2.3	RELATÓRIO DAS ATIVIDADES DA EQUIPE DE APANHA J, REFERENTE AO DIA 04/10/2004	21
2.4	PROGRAMAÇÃO DIÁRIA DOS MOTORISTAS	23
2.5	TOTAL DE VIAGENS E DISTÂNCIAS PERCORRIDAS POR CAMINHÃO .	24
2.6	DEMONSTRATIVO DE ABATE DIÁRIO POR INTEGRADO DA AVÍCOLA FELIPE REFERENTE A 04/10/2004	25
3.1	NÚMERO DE CAMINHÕES DE QUATRO EMPRESAS FLORESTAIS NECESSÁRIOS PARA PUXAR VOLUME SIMILAR DE MADEIRA DE CONSTRUÇÃO ANTES E APÓS A IMPLEMENTAÇÃO DO ASICAM	34
3.2	VALORES TÍPICOS DOS TAMANHOS DOS PROBLEMAS IMPLEMENTADOS NA SADIA	44
4.1	CÁLCULO DO TVC DA GRANJA DO ROGÉRIO DE SÃO TOMÉ	61
4.2	RELATÓRIO DAS ATIVIDADES DA EQUIPE DE APANHA A, REFERENTE AO DIA 04/10/2004	62
4.3	RELATÓRIO DAS ATIVIDADES DA EQUIPE DE APANHA J, REFERENTE AO DIA 04/10/2004	63
4.4	RELATÓRIO DAS ATIVIDADES DA EQUIPE DE APANHA V, REFERENTE AO DIA 04/10/2004	63
4.5	DEMONSTRATIVO DE ABATE DIÁRIO POR INTEGRADO DA AVÍCOLA FELIPE REFERENTE A 04/10/2004	64
5.1	SOLUÇÃO GERADA PELO GRASP PARA UMA SEGUNDA-FEIRA 04/10/2004	75
5.2	QUANTIDADES DE VIAGENS, HORAS TRABALHADAS E INTERVALOS DE FOLGAS DOS CAMINHÕES 1, 8 E 10	76

Lista de Figuras

3.1	UM PSEUDO-CÓDIGO GENÉRICO DO GRASP	48
3.2	PSEUDO-CÓDIGO DA FASE DE CONSTRUÇÃO DO GRASP	49
3.3	PSEUDO-CÓDIGO DA FASE DE BUSCA LOCAL DO GRASP	50
4.1	PSEUDO-CÓDIGO DA FASE DE BUSCA LOCAL PARA O PROBLEMA DE ESPERA	71

RESUMO

O setor avícola, mais precisamente o de aves domésticas, frangos e galinhas, tem tido um grande crescimento nas últimas décadas e, além disso, os investimentos financeiros e tecnológicos têm sido muito interessantes. Desde a fase de pintainho até o momento do abate, as aves têm um ganho de peso impressionante, passando de aproximadamente 43 gramas, ao nascer, para 2.400g em apenas 43 dias. Vários fatores contribuem para esse ganho de peso. No entanto, desde a hora da saída da ave da granja, local da criação, até o momento do abate, na avícola, a ave pode ter uma perda de peso significativa e pode haver uma taxa de mortalidade preocupante. O presente trabalho tem como objetivo principal minimizar a média ponderada dos tempos de espera dos caminhões carregados, tendo como peso o número de aves transportadas em cada carga, de forma que esse tempo fique o mais próximo de 25 minutos, que é o tempo considerado ideal pela empresa para a espera do abate das aves. A empresa Avícola trabalha no sistema integrado, contando com cerca de 390 granjas espalhadas ao redor de 38 municípios, que dela distam entre 8 km a 109 km. O abate diário médio é de 90.000 aves, provenientes de três a doze granjas. O transporte das aves até o abatedouro é feito por uma empresa terceirizada, que conta com uma frota de 13 caminhões com capacidades diferenciadas; o limite da frota é mais ou menos a metade do abate diário, sendo então necessária mais de uma viagem por caminhão. O problema consiste em fazer o roteamento dos caminhões até as granjas e a programação dos horários, satisfazendo a demanda de abate e minimizando o tempo de espera. Como se trata de um problema classificado na literatura como *NP-hard*, este trabalho propõe o uso de um método heurístico baseado na metaheurística GRASP a qual busca determinar uma solução ótima ou quase ótima para o problema.

Palavras-chave: Metaheurística; GRASP; Roteamento; Programação; Sistema Integrado.

ABSTRACT

The poultry industrial sector, more precisely that of domestic birds, chicken and hens, has undergone a considerable growth in the last decades, receiving interesting financial and technological investments. From their first days till the hour of its killing, the bird gains an impressive amount of weight, going from approximately 43 grams, at birth, to 2,400 grams in only 43 days. There are many factors that contribute to this. However, from the moment it leaves the raisers farm till its killing, at the industry, the bird might suffer a considerable loss of weight. There is also a preoccupying death rate. The present work aims decreasing the considered average of awaiting of loaded trucks, in which the weight is composed by the number of birds it carries, to the lowest possible level. The objective is to reduce this period to 25 minutes, which is considered optimal. The enterprise Poultry works in an integrated system, with 390 raising farms scattered around 38 municipalities, distant to it from 8 km to 109 km. Daily average killing is of 90 thousand birds, coming from three to twelve bird raisers. Transportation of birds to the industry is carried by a supplier, who has 13 trucks with different capacities. Each truck needs to make more than one trip to carry all the birds. The problem consists of organizing the trucks routing and their schedules, so as to satisfy the demand and minimize the awaiting time. Since this is a NP-hard problem, this work presents a heuristic method based on metaheuristic GRASP, in the attempt to find an optimal or nearly optimal solution for the problem.

Key-words: Metaheuristic; GRASP; Routing; Scheduling; Integrated System.

Capítulo 1

INTRODUÇÃO

Há pelo menos dois milhões de anos, o uso da carne tem sido importante na alimentação humana. Tem-se observado que algumas características físicas dos seres humanos sofreram adaptações para a alimentação baseada em carnes, como é o caso dos dentes e da estrutura da arcada dentária, os quais se desenvolveram para tornar eficiente a apreensão, a mastigação e a ingestão de carnes.

A carne é considerada uma fonte de proteína completa, principalmente a carne magra¹. É também, uma excelente fonte de vitaminas do complexo B e de minerais como o ferro e o zinco, além de conter alta porcentagem de todos os aminoácidos essenciais ao corpo humano.

As carnes são classificadas em vermelhas ou brancas, dependendo do conteúdo de mioglobina² e, quanto maior o teor de mioglobina, mais vermelha será a carne. Uma característica das carnes brancas é que elas têm menor quantidade de gorduras do que as vermelhas.

Nas últimas décadas tem-se percebido uma mudança nos hábitos alimentares, principalmente no que diz respeito ao consumo de carnes. Cuidados com a saúde fizeram com que as pessoas passassem a consumir mais carnes brancas, (OLIVO, 2004).

¹Em geral, a composição centesimal em média, da carne magra, é: 20% proteína, 9% de gordura, 70% umidade, 1% de cinzas e menos de 1% de carboidratos. Esta composição fornece cerca de 160 calorias por 100 gramas.

²A mioglobina serve para o transporte e reserva de oxigênio, o qual é necessário para o metabolismo oxidativo (produção de energia com o uso de oxigênio), o qual nas carnes brancas é realizado pela via anaeróbica.

1.1 Avicultura de Corte - Situação Atual e Tendências para os Próximos Anos

O Brasil conquistou um espaço significativo na produção mundial de carne de frango, passando de 1,4% desta produção em 1961, para 10,5% em 2003. Do aumento de mais de 66,8 milhões de toneladas na produção mundial nesse período, coube ao Brasil 7,8 milhões de toneladas, que equivale a 11,7% de acréscimo, (AVISITE, 2004).

A avicultura brasileira, e também a mundial, se desenvolveram e se modernizaram rapidamente, e alcançaram níveis elevados de produtividade nos últimos 30 anos. Em 1970, eram necessários 70 dias para o crescimento e engorda de um frango de corte que consumia cerca de 2,0 kg de ração para 1,0 kg de ganho de peso, sendo que 80% do peso vivo poderia ser considerado comestível. Em 2004, um frango de corte ficava pronto para o abate com 2,4 kg, aos 42 dias, tendo uma conversão alimentar de 1,8 kg de ração para cada quilograma de ganho de peso, (AVISITE, 2004).

O aumento da produtividade dos grãos e a incorporação de novas áreas para o seu cultivo, apesar de reduzir a produção extensiva de bovinos, agregou valores relativos à produção de proteína animal como carne, leite e ovos, devido ao uso desses cereais na alimentação bovina e de aves. Essa é a principal razão para o grande desenvolvimento da avicultura nacional, um exemplo de organização, coordenação dos participantes, uso de tecnologia e capacidade gerencial. Essas competências não se concentram apenas no elo relacionado ao sistema de produção, mas também nos elos relacionados ao processamento e à distribuição (atacado e varejo), contribuindo sobremaneira para o desenvolvimento social do País.

No agronegócio brasileiro, a avicultura industrial destacou-se nas últimas décadas por uma trajetória de incremento tecnológico expressivo, alavancada pela destacada articulação

entre os diferentes agentes que o compõem. Assim, a cadeia produtiva de aves de corte assegura ao país posição de destaque no cenário mundial, ocupando o segundo lugar na produção mundial de carne de frango. O sistema integrado³ de produção de frango, teve um grande sucesso e está sendo responsável pelo crescimento e baixo custo da produção.

1.1.1 Consumo Interno da Carne de Frango

Observa-se que no período de 1986 a 2004, o consumo *per capita* de carne de frango passou de cerca de 10 kg para perto de 35 kg por ano, quase igualando a quantidade consumida de carne bovina. Então, pode-se afirmar que estamos passando de um país preponderantemente consumidor de carne bovina, para um país consumidor também da carne de frango. Por outro lado, a demanda pela carne bovina tem apresentado pequenas oscilações, com tendência a se estabilizar, observando-se desde 1990 uma variação entre 35 e 40 kg por ano, e a partir de 1998 uma estabilidade ainda maior, entre 35 e 37 kg por ano. O consumo de carne suína, tem ao longo dos anos apresentado um discreto crescimento, porém, a uma taxa constante.

Conclui-se que o hábito de consumo do brasileiro mudou, mas a substituição entre as diferentes carnes foi apenas relativa e não absoluta. Ocorreu crescimento na quantidade total consumida *per capita* nos três tipos de carne: bovina, suína e de frango.

O preço, junto com a qualidade do produto ofertado no mercado e a facilidade no seu preparo, importante nos dias de hoje, contribuiu para o excepcional crescimento do consumo interno da carne de frango. A evolução do consumo *per capita* demonstra esse excelente desempenho. Em média, a partir de 1986 o consumo de carne de frango do brasileiro cresceu 1,34 kg por ano, exceto nos anos de 1988, 1996 e 2003 quando ocorreu queda no consumo *per capita* em relação ao ano anterior.

³Este sistema está descrito no capítulo 2, na seção 2.1.

Projeções efetuadas a partir da disponibilidade interna de carne de frango registrada até novembro de 2004, indicam que o consumo de carne de frango deve superar ligeiramente os 33 quilogramas *per capita*, chegando a ultrapassar os bons níveis registrados em 2002, que foi de 33,5 quilogramas, (AVISITE, 2004).

1.1.2 Produção Mundial de Carnes Segundo a FAO

O órgão da ONU para agricultura e alimentação (FAO), prevê uma produção mundial de carnes de 264,7 milhões de toneladas, em 2005, número este, que se confirmado, significará um crescimento de 2,8% em relação ao ano de 2004, (AVICULTURA INDUSTRIAL, 2005d).

A Tabela 1.1, fornece a produção mundial para diversos tipos de carnes, além da quantidade de exportações e o consumo *per capita*, em kg.

Tabela 1.1: PRODUÇÃO, EXPORTAÇÃO E CONSUMO MUNDIAL DE CARNES - ABR 2005

Países	2003	2004 (Estimativa)	2005 (Previsão)
Total Mundial (milhões de toneladas)	253,3	257,6	264,7
Carne de Aves	76,2	77,8	80
Carne Suína	98,5	100,8	103,4
Carne Bovina	61,5	61,5	63,5
Carne Caprina e Ovina	12,2	12,4	12,8
Outras Carnes	5	5,1	5,1
Exportações (milhões de toneladas)	19,5	19,3	20,1
Carne de Aves	8,2	7,8	8,2
Carne Suína	4,2	4,5	4,5
Carne Bovina	6,1	6	6,3
Carne Caprina e Ovina	0,7	0,7	0,8
Outras Carnes	0,2	0,2	0,2
Consumo <i>Per Capita</i> (kg)	40,3	40,5	41,7
Carne de Aves	12,2	12,2	12,6
Carne Suína	15,7	15,9	16,3
Carne Bovina	9,8	9,7	10
Carne Caprina e Ovina	1,9	2	2
Outras Carnes	0,8	0,8	0,8

FONTE: FAO Food Outlook abril 2005

Produção Brasileira de Carne de Frango

Recorde no ano e segundo maior volume dos últimos 6 meses, a produção brasileira de carne de frango, totalizou em maio de 2005, pelos cálculos da APINCO, 763,7 mil toneladas, ou seja, 25 mil toneladas a menos que o recorde absoluto mantido desde dezembro do ano de 2004, ocasião em que o País produziu 788,7 mil toneladas de carne de frango, (AVISITE, 2004).

Comparativamente ao mesmo mês de 2004, o volume alcançado em março de 2005 representou aumento de 8,98%. E, em relação ao mês anterior, em abril de 2005 a expansão foi de 3,28%. Considerando-se, porém, que maio tem 31 dias, a produção do mês foi similar à de abril, alcançando pouco mais de 739 mil toneladas. Decorridos os cinco primeiros meses de 2005, a produção brasileira de carne de frango alcança volume da ordem de 3,664 milhões de toneladas, quantidade que significa incremento de 8,31% sobre o mesmo período de 2004.

Projetada para um período de 12 meses, a produção atual aponta um volume global da ordem de 8,8 milhões de toneladas, cerca de 4,6% a mais que o produzido em 2004. A tendência natural, no entanto, é de uma produção em torno dos 9 milhões de toneladas, volume que representaria aumento de 7% sobre a produção do ano passado. Neste caso, basta que a produção média mensal dos sete meses restantes do ano se situe em 763 mil toneladas, o mesmo volume registrado em maio último, para que se alcancem os 9 milhões de toneladas de carne de frango, (AVICULTURA INDUSTRIAL, 2005c).

Se esse volume se confirmar, a produção brasileira de carne de frango estará a 90% da produção chinesa, estimada neste ano pelo USDA⁴ em 10 milhões de toneladas. Em 2000, o Brasil produzia apenas 64% do que era produzido na China.

⁴Do inglês *United States Department of Agriculture* (Departamento de Agricultura dos Estados Unidos).

Na Tabela 1.2, encontra-se a produção nacional de carne de frango, referente aos anos de 2001 a 2005, sendo que em 2005, os dados são referentes até o mês de maio.

Tabela 1.2: PRODUÇÃO DE CARNE DE FRANGO (EM MIL TON) - 2001 A 2005

	2001	2002	2003	2004	2005
JAN	527	593,8	646,9	674,1	742,8
FEV	470,2	529,8	577,5	631	667,8
MAR	526,1	619,9	646,9	691,1	750,6
ABR	506,6	610,4	624,4	686,4	739,5
MAI	532,4	629,5	659,9	700,8	763,7
JUN	525,4	623,6	621,1	676,5	
JUL	559,8	645,1	649,1	720,1	
AGO	572,2	640,6	623,6	695,6	
SET	569,9	601,1	601,6	694,5	
OUT	593,7	625,3	650,5	729,1	
NOV	578,5	651,7	645,9	720,5	
DEZ	605,4	677,6	697,7	788,7	
TOTAL	6.567,20	7.449,00	7.645,10	8.408,50	3.664,40

FONTE: APINCO

1.1.3 Exportações

Resultados finais divulgados pela Associação Brasileira dos Exportadores de Frango (ABEF) confirmam que, em maio de 2005, as exportações brasileiras de carne de frango totalizaram 233 mil toneladas, volume que representou aumento de 12,89% sobre as vendas externas de maio de 2004. Em relação ao mês anterior, abril de 2005, a variação foi de 2,64%. No acumulado dos cinco primeiros meses de 2005, as exportações de carne de frango já ultrapassaram o primeiro bilhão de quilos, o que não havia ocorrido no ano passado; já somam perto de 1,080 milhão de toneladas e apresentam aumento de 23,71% sobre os mesmos cinco meses de 2004. Projetado para o restante do ano, o acumulado atual sugere embarques totais, em 2005, da ordem de 2,590 milhões de toneladas, cerca de 6,8% a mais que o exportado em 2004. A tendência atual, no entanto, é a de superar esse volume visto que, principalmente, o

acumulado nos 12 meses encerrados em maio de 2005 já supera os 2,630 milhões de toneladas, o que significa aumento de 29,18% sobre os 12 meses imediatamente anteriores, (AVICULTURA INDUSTRIAL, 2005a, 2005b).

Na Tabela 1.3, encontra-se a quantidade exportada de carne de frango relativa aos anos de 2001 a 2005, sendo que para 2005, os dados são referentes até o mês de maio.

Tabela 1.3: EXPORTAÇÃO DE CARNE DE FRANGO
(EM MIL TON) - 2001 A 2005

	2001	2002	2003	2004	2005
JAN	77	98,1	146,5	157	182,8
FEV	90,8	108,7	173,4	184,5	210,7
MAR	106,3	115,5	164	184,5	225,4
ABR	99,7	102,8	143,3	139,7	227
MAI	110,6	94,3	130	206,4	233
JUN	105,9	94,1	155,4	238,2	
JUL	96,2	139,6	135,5	205,9	
AGO	110,9	140,4	193,7	252,6	
SET	112,1	245,1	189,5	210,1	
OUT	119,8	185,9	157,3	219,3	
NOV	108,7	143,8	190,5	198,6	
DEZ	111	131,3	142,7	227,4	
Total	1.249,30	1.599,9	1.922	2.424,5	1.078,9

FONTE: ABEF

1.2 Desenvolvimento do Trabalho

O trabalho foi desenvolvido nas empresas Avícola Felipe S/A e Trevizoli e Cia Ltda. A primeira empresa atua no mercado agro-industrial, mais precisamente no ramo avícola, abastecendo aves domésticas, frangos e galinhas; a segunda empresa é terceirizada da primeira, sendo a responsável pelo apanhe⁵ e o transporte das aves da granja, local de criação, até o abatedouro, na Avícola.

⁵Carregamento das aves nos caminhões.

1.2.1 A Empresa Avícola Felipe S. A.

A empresa Avícola Felipe S. A.⁶, que tem como nome fantasia, Mister Frango, está localizada a 7 km do município de Paranavaí, noroeste do Paraná, distante 520 km de Curitiba. É uma empresa de propriedade do grupo Irmãos Felipe. Começou suas atividades no ano de 1995 entrando no mercado agro-industrial. Na época da realização deste trabalho, contava com cerca de 1.200 empregos diretos e 1.000 indiretos.

Em 2004, era uma das 50 maiores avícolas do País, estando inscrita na lista geral de exportadores. Com a finalidade de atender todos os mercados mundiais, principalmente os da Comunidade Européia e Asiática, instalou diversos controles de qualidade. No mesmo ano, exportou cerca de 650 toneladas mensais, principalmente para Argentina e China. E já foram efetuados os primeiros contratos de exportações com o Japão, a Rússia e alguns países árabes.

Até agosto de 2004 trabalhava em turno único, abatendo uma média de 70.000 aves por dia. A partir de setembro de 2004 começou a operar em dois turnos abatendo entre 85.000 e 92.000 aves por dia. Pretende para 2007, abater 250.000 aves por dia .

Trabalha com o sistema integrado, contando com cerca de 390 produtores integrados⁷, número referente a outubro de 2004.

Na Avícola, 90% do frango produzido é cortado, aproveitando as melhores partes (cortes nobres) como asa, coxa e peito. O que sobra (o dorso) é transformado em carne mecanicamente separada (CMS), que é vendida para a indústria de embutidos.

No mês de abril de 2005, o setor de evisceração⁸ da empresa foi automatizado, com a instalação de uma máquina que realiza todo o processo de evisceração, ocasionando uma redução de 80 postos de trabalho.

⁶Durante o restante deste trabalho a empresa Avícola Felipe S. A. será denominada apenas como Avícola.

⁷Pessoas responsáveis pela criação das aves na propriedade rural; Integrado: aquele que se associa a Avícola.

⁸Setor responsável pela retirada das vísceras.

1.2.2 A Empresa Trevizoli e Cia Ltda

O transporte das aves desde a granja até a Avícola, bem como o apanhe e o carregamento das aves, é executado por uma empresa terceirizada, a Trevizoli e Cia Ltda⁹, que está situada no município de Paranavaí, noroeste do Paraná, distante 510 km de Curitiba. Fundada em 1997 é uma empresa pertencente ao Sr. Vilson Meurer e esposa.

No ano de sua fundação, a empresa possuía 5 caminhões para o transporte de aves com 1 motorista cada um, e uma camioneta para fazer o deslocamento de uma equipe de apanha¹⁰, que era composta por 12 funcionários. Nesta época, a Trevizoli atendia à Avícola, que abatia uma média de 20.000 aves por dia.

Em outubro de 2004, o casal Meurer, possuía duas empresas a Trevizoli e a Rodovini Transportes Rodoviários Ltda; está última contando com 8 caminhões bi-trens que faziam o transporte de grãos do Mato Grosso do Sul para Paranaguá. Já a Trevizoli contava com 13 caminhões para o transporte de aves e 3 camionetas para o deslocamento de suas 3 equipes de apanha.

1.3 Objetivos do Trabalho

1.3.1 Objetivo Principal

Desenvolver um método heurístico, baseado na metaheurística GRASP¹¹, para o roteamento e a programação dos horários dos caminhões que realizam o transporte das aves para o abate, fazendo com que a média ponderada do tempo de espera das aves, desde a chegada na Avícola até o momento do abate, fique o mais próximo de 25 minutos.

⁹Durante o restante deste trabalho a empresa Trevizoli e Cia Ltda será denominada apenas como Trevizoli.

¹⁰Grupos de pessoas responsáveis pelo apanhe e carregamento das aves nos caminhões, nas granjas.

¹¹Do inglês *Greedy Randomized Adaptive Search Procedure* (Procedimento de Busca Adaptativo Guloso e Randomizado).

1.3.2 Objetivos Complementares

Além do objetivo principal, pretende-se atingir os seguintes objetivos complementares:

1. Equilibrar a carga de trabalho entre os motoristas, quanto a distância percorrida;
2. Equilibrar a carga de trabalho entre as equipes de apanha, quanto a quantidade de aves apanhadas;
3. Diminuir a ociosidade dos motoristas, quanto ao tempo de espera;
4. Diminuir a perda de peso e a taxa de mortalidade das aves.

1.4 Importância do Trabalho

A otimização do processo de roteirização e de programação dos horários dos caminhões, através da implementação computacional do método heurístico proposto, produzirá alguns benefícios, tais como:

1. Diminuição da taxa de mortalidade;
2. Diminuição da perda de peso das aves;
3. Aumento do número de aves abatidas, gerando lucro tanto para empresa quanto para os produtores;
4. Redução do número de horas trabalhadas pelos motoristas;
5. Ganho de tempo, por parte do responsável pela roteirização e programação dos horários dos caminhões, para a realização de outras atividades.

Diante do exposto, fica evidente a importância do trabalho, uma vez que a sua realização trará benefícios, para um grande número de agentes envolvidos no processo, tais como:

1. A empresa de transporte das aves;

2. A Avícola;
3. Os produtores;
4. Os motoristas;
5. As equipes de apanha.

1.5 Limitações do Trabalho

Por se tratar de um problema que apresentava multi-objetivos, fez-se necessário determinar algumas limitações, tais como:

1. Roteirização e programação apenas dos horários dos caminhões, levando em conta que as equipes de apanha, já se encontram nos locais determinados para o carregamento dos caminhões, pois a otimização da roteirização dessas equipes envolveria um outro problema, ficando como uma sugestão para trabalhos futuros;
2. Considerações sobre fatores adversos, tais como:
 - (a) Condições climáticas, como chuva, etc;
 - (b) Quebra de caminhões;
 - (c) Paralisação do abate devido a quebra de equipamentos, queima de motores, etc;
3. Quantidade de aves por gaiola, limitada a 8 aves.

1.6 Estrutura do Trabalho

A estrutura deste trabalho está organizada em 6 capítulos. No presente capítulo encontram-se, além desta estrutura, uma introdução sobre a avicultura, um pequeno histórico sobre as empresas envolvidas no trabalho, os objetivos, a importância e as limitações do trabalho. Tem-se no capítulo 2, a descrição do sistema integrado e do problema de espera. A

revisão da literatura, que dá fundamentação para o método utilizado na resolução do problema, bem como algumas aplicações nos setores de transporte e avícola, encontram-se no capítulo 3. Já no capítulo 4, está a descrição do método heurístico proposto juntamente com a implementação computacional. A avaliação dos resultados é feita no capítulo 5. E por fim, no capítulo 6, tem-se as conclusões e sugestões para trabalhos futuros.

Capítulo 2

O SISTEMA INTEGRADO E O PROBLEMA DE ESPERA

2.1 O Sistema Integrado

A produção de aves de corte¹ no Paraná pode ser subdividida em três modalidades diferentes: produtores independentes, produtores cooperados e produtores integrados. Os produtores independentes não têm vínculo de compra de insumos ou venda do produto com nenhuma empresa; formulam a ração na propriedade ou a adquirem junto a fornecedores, adquirem os pintainhos² no mercado e contratam a assistência técnica de terceiros e/ou firmas especializadas. Os produtores cooperados reúnem-se em cooperativas, com o objetivo de comprar em conjunto os insumos básicos à produção de aves de corte, bem como industrializar e comercializar o produto final. Os produtores integrados são contratados pela agroindústria que coordena todo o processo produtivo (LIMA, 2004).

Na produção de aves de corte, o sistema integrado ocorre quando uma empresa coordena todo o processo, fornecendo os insumos necessários à produção, como pintainhos de um dia, ração, vacinas e medicamentos, assistência técnica, transporte, industrialização (abate, corte, processamento, e embalagem), armazenamento, comercialização, distribuição, controle

¹Neste trabalho, são consideradas aves de corte os frangos e as galinhas para o abate.

²O mesmo que pintinho. Frango com um dia de vida.

do processo de tomada de decisão e todos os demais insumos utilizados na produção. Pode-se dizer que a agroindústria indiretamente utiliza as instalações do produtor rural, fornecendo os insumos citados acima e o acompanhamento veterinário. Ao produtor integrado compete o fornecimento dos demais insumos necessários à condução da atividade avícola, tais como: instalações adequadas, sendo galpões³, utensílios, equipamentos, material para a cama⁴, energia, água, silos para armazenamento da ração além de fornecer toda a mão-de-obra necessária às atividades diárias. Em relação à mão-de-obra, o produtor é responsável por todas e quaisquer implicações de ordem social, trabalhista e previdenciária relacionadas a vínculos empregatícios. Além dessas, o produtor tem outras obrigações como comunicar à indústria sempre que aparecer qualquer doença ou anormalidade; promover a desinfecção do galpão após a retirada das aves e prepará-lo para recebimento de novo lote de pintainhos, atendendo a todas recomendações técnicas da indústria. Salientando-se que por força do contrato, o integrado deve seguir rigorosamente as instruções nele expressas, podendo responder civil e criminalmente por omissão.

As empresas integradoras coordenam todo o processo de decisão relativo ao sistema de integração, estabelecendo um total controle da produção de aves de corte, alienando o produtor das decisões, ou seja, o criador torna-se um subordinado quase total às decisões da empresa.

O sistema integrado sob contratos surgiu paralelamente à grande modernização da avicultura como processo de mudanças nas estratégias organizacionais, disseminando-se rapidamente. Hoje, a avicultura brasileira está fortemente baseada no sistema de produção integrada, no qual as atividades do produtor são regidas por contratos firmados com a indústria. O estado do Paraná apresenta sistemas de produção de aves diferenciados entre si; no entanto, as empresas determinam as relações contratuais que regulam os sistemas integrados.

³Barracão na propriedade onde é feita a engorda das aves.

⁴Palha usada para forrar o chão dentro dos galpões.

A avicultura integrada consiste em um relacionamento entre a agroindústria e os produtores rurais em que o produtor de aves de corte se caracteriza pela utilização de mão-de-obra familiar, por ser proprietário de pequena extensão de terra e a propriedade ser diversificada.

Em 2004, existiam no Paraná, 33 empresas que trabalhavam com o sistema integrado sob contratos, sendo que apenas uma não coordenava todo o processo, deixando a cargo dos produtores toda a produção de aves de corte, desde a produção dos pintainhos até a industrialização e o processamento do produto final. As demais promovem uma integração verticalizada que vai da aquisição dos pintainhos à comercialização das aves de corte.

O ingresso das empresas no sistema de integração é motivado pela tendência do mercado, homogeneidade da matéria-prima, suprimento da capacidade de abate, aumento da produção como garantia de melhor comercialização, redução da necessidade de investimento e diminuição das despesas operacionais, aumento da produtividade e matéria-prima assegurada.

A integração para os pequenos e médios produtores tornou-se uma oportunidade de negócio, gerando receita em curto espaço de tempo com a venda das aves e da cama.

A forte tendência à especialização da atividade de produção de aves de corte, aliada à instabilidade da economia e à necessidade de obtenção de renda em prazos mais curtos, tem levado os produtores, principalmente os pequenos, a ingressarem na atividade ou investirem em melhoramentos das condições das instalações, de acordo com as exigências das empresas integradoras.

O sistema de produção contratual de aves de corte tem demonstrado que podem participar produtores com capacidade de alojamento relativamente baixa, uma vez que a capacidade média dos integrados é de 13.800 aves, enquanto a dos independentes e/ou cooperados é de 48.700 aves.

As exigências feitas pelas empresas integradoras ao produtor, para que este possa par-

ticipar do sistema são: galpão equipado, contratos em que são descritas todas as obrigações do integrado e do integrador, condições de higiene e manejo adequado da criação e o tipo de galpão.

Algumas empresas integradoras exigem uma área mínima do galpão de 1.200 m², que possa abrigar entre 12.000 a 14.000 aves. Esta dimensão foi definida através de estudos técnicos, sendo considerada a que otimiza o uso da mão-de-obra no manejo e proporciona maior rentabilidade. Para a empresa, esse dimensionamento minimiza o tempo e o custo com o transporte dos insumos e o carregamento das aves. Os equipamentos e utensílios usados nas granjas como comedouros, bebedouros, entre outros, são padronizados de acordo com as exigências das integradoras.

Quanto ao produtor, além do esforço físico dispendido na condução da atividade, ele deve ser um especialista, devendo possuir habilidades que incluam experiência e conhecimento para seguir as determinações técnicas da integradora. Esse conhecimento pode ser adquirido de diversas formas, como, por exemplo, junto a outros produtores de aves de corte, na integradora e na assistência técnica.

Para efetuar o pagamento ao integrado, as integradoras usam várias maneiras de calcular o valor a ser pago. Algumas empresas utilizam tabelas de pontuação para a avaliação final do lote, que serve de base da remuneração do produtor. O cálculo baseia-se no desempenho esperado, que considera as seguintes variáveis: mortalidade, conversão alimentar, ganho de peso diário, carregamento, contusão e manejo. Para cada variável há um peso correspondente.

No entanto, nesse sistema não se deve considerar que o preço recebido pelo produtor é o preço de venda das aves de corte, pois estas não lhe pertencem. O preço reflete unicamente a compensação pela engorda das mesmas.

De forma geral, os contratos de integração garantem uma certa estabilidade de renda

aos produtores integrados, remunerando todos os fatores de produção e, ainda, propiciando renda residual. No entanto, na relação integrador/integrado estabelecida por meio de contrato, dentre as incumbências da empresa integradora, está explícita a subordinação do integrado a todo o seu complexo de processamento.

A principal barreira à entrada de produtores na atividade avícola, no sistema de integração, é a falta de recursos para investimentos na construção do galpão e na compra de equipamentos. Por outro lado, a saída do sistema é difícil, praticamente irreversível, pois além de depender do fornecimento de insumos pela integradora, deve amortizar, a longo prazo, o capital inicial investido, convivendo com as incertezas do mercado das aves de corte.

Em relação ao sistema de integração, a principal desvantagem é a centralização do poder de decisão pela indústria, uma vez que o produtor é um mero executor das decisões que lhes são impostas, devendo adaptar-se ao sistema como seguidor de instruções e administrador de mão-de-obra. Outra desvantagem é a baixa remuneração proporcionada pelo sistema.

2.2 O Problema de Espera

Um dos problemas com que a Avícola lida diariamente, é o tempo de espera das aves para o abate. A demora no tempo de abate implica em estresse nas aves fazendo diminuir o peso e aumentar a mortalidade, e causando prejuízo financeiro tanto para a Avícola, quanto para o produtor, responsável pela engorda das mesmas.

A roteirização e a programação dos horários dos caminhões é feita manualmente pelo dono da empresa de transporte e dispende um determinado tempo, que poderia estar sendo disponibilizado para outras atividades. Além do que, alguns fatores não são levados em consideração durante a programação dos horários dos caminhões, tais como:

1. **Distribuição equitativa de trabalho entre os motoristas.** Há motoristas que percorrem 8 km e outros que percorrem 109 km, em uma viagem, o que pode causar insatisfação aos mesmos, já que eles recebem salário fixo, independente da distância percorrida em cada viagem;
2. **Ociosidade dos caminhões e motoristas.** Há caminhões que chegam a esperar até 5 horas para que sua primeira carga seja abatida.

A Avícola abate diariamente, de segunda-feira a sábado, entre 85.000 e 92.000 aves. O transporte dessas aves, desde o galpão até o abatedouro na Avícola é feito por uma frota de 13 caminhões da empresa Trevizoli, os quais são classificados em 3 tipos, de acordo com a capacidade máxima de aves transportadas, conforme Tabela 2.1.

Tabela 2.1: QUANTIDADE DE CAMINHÕES DA EMPRESA TREVIZOLI CONFORME O TIPO E A CAPACIDADE MÁXIMA DE AVES - OUT 2004

Tipo de Caminhão	Capacidade Máxima de Aves Transportadas	Quantidade de Caminhões
I	3.456	7
II	2.816	2
III	2.560	4
	Total	13

FONTE: Trevizoli e Cia Ltda

O transporte das aves nos caminhões é feito em gaiolas, com capacidade máxima de 9 aves, mas em geral, são transportadas 8 aves. Porém, de acordo com o horário previsto para o abate, a quantidade de aves transportadas fica limitada a 7. Na Tabela 2.2, encontra-se a quantidade de gaiolas que cada tipo de caminhão comporta e a quantidade máxima de aves transportadas por caminhão, conforme o número de aves por gaiola.

Além de fazer o transporte das aves do produtor até o abatedouro, na Avícola, a Trevizoli é responsável pela apanha das aves na granja, atividade esta desenvolvida pelas três

Tabela 2.2: QUANTIDADE DE GAIOLAS POR TIPO DE CAMINHÃO E CAPACIDADE MÁXIMA DE AVES POR GAIOLA

Tipo de Caminhão	Quantidade de Gaiolas	Quantidade de Aves Transportadas por Caminhão	
		7 aves/gaiola	8 aves/gaiola
I	432	3.024	3.456
II	352	2.464	2.816
III	320	2.240	2.560

FONTE: Trevizoli e Cia Ltda

equipes de apanha disponíveis pela empresa.

Uma equipe de apanha, totalizando 13 pessoas, tem a seguinte formação:

1. Um **encarregado**, que é o motorista responsável pelo transporte da equipe, a quem cabe também, fazer o relatório das atividades desenvolvidas pela equipe;
2. Dois **cargueiros**, que descarregam e carregam as gaiolas nos caminhões;
3. Quatro **carregadores**, que fazem o transporte das gaiolas vazias, do caminhão para o galpão e, das gaiolas carregadas, do galpão para o caminhão;
4. Seis **catadores** ou **xiqueirinhos**, que colocam as aves dentro das gaiolas.

A forma de apanha é feita pelo dorso da ave, e cada equipe apanha uma média de 68 aves por minuto. O tempo de carregamento depende da capacidade do caminhão, sendo que um caminhão com capacidade de 3.456 aves demora 51 minutos para ser carregado.

Em geral, as equipes são denominadas pela inicial do nome do seu encarregado. Durante o desenvolvimento do trabalho, existiam as equipes A, J e V, sob a responsabilidade de Antonio, José e Vanderley, respectivamente.

Tem-se na Tabela 2.3, um relatório das atividades desenvolvidas pela equipe J, referente ao apanhe para o abate do dia 04/10/2004. Os números inseridos entre parênteses, em cada campo da tabela, têm os seguintes significados:

- (1) - Data do abate;
- (2) - Dia da semana do abate;
- (3) - Equipe de apanha;
- (4) - Horário de saída para o apanhe;
- (5) - Horário de chegada após o apanhe;
- (6) - Intervalo de parada durante o apanhe na granja;
- (7) - Horário de saída da equipe para o apanhe referente ao próximo dia;
- (8) - Nome do granjeiro⁵;
- (9) - Cidade de referência da localização da granja;
- (10) - Caminhão (placa) previsto para o carregamento;
- (11) - Horário previsto para o início do carregamento;
- (12) - Quantidade de aves por caixa (gaiola);
- (13) - Caminhão (placa) que foi carregado;
- (14) - Horário de início do carregamento;
- (15) - Horário de término do carregamento;
- (16) - Quantidade de aves carregadas no caminhão;
- (17) - Total de aves apanhadas pela equipe;
- (18) - Tempo médio de carregamento por caminhão;
- (19) - Total de horas trabalhadas pela equipe;
- (20) - Campo destinado para alguma observação relevante.

⁵Neste trabalho, granjeiro terá o mesmo significado que produtor integrado.

Tabela 2.3: RELATÓRIO DAS ATIVIDADES DA EQUIPE DE APANHA J, REFERENTE AO DIA 04/10/2004

RENTE AO DIA 04/10/2004

Programação do dia: 04/10/04 (1)			Segunda-feira (2)			Equipe: J (3)		
Saída: 21:50h (4)	Chegada: 10:30 (5)		Intervalo: (6)			Amanhã: 21:00h (7)		
Granjeiros (8)	Cidade (9)	Placa (10)	Início (11)	A. cx. (12)	Placa (13)	Início (14)	Término (15)	Aves (16)
Rogério Brambila I/II/III	São Tomé	ACO	23:00	8	HQG	23:00	23:54	2.816
Rogério Brambila I/II/III	São Tomé	KDO	23:40	8	KDO	23:54	00:50	3.456
Rogério Brambila I/II/III	São Tomé	AEY	00:30	8	AEY	00:50	01:48	3.456
Rogério Brambila I/II/III	São Tomé	BWP	01:20	8	BWP	01:48	03:00	3.456
Rogério Brambila I/II/III	São Tomé	JTP	02:10	8	JTP	03:00	04:13	3.456
Rogério Brambila I/II/III	São Tomé	HQG	03:00	8	HQG	04:13	04:48	2.400
Rogério Brambila I/II/III	São Tomé	AEA	03:40	8	AEA	04:48	05:28	2.144
Mário Yoneyama I	São Carlos	KOL	05:30	8	KOL	06:20	07:13	3.456
Mário Yoneyama I	São Carlos	ACJ	06:20	8	ACJ	07:13	08:06	3.160
Mário Yoneyama I	São Carlos	KDO	07:10	8	KDO	08:06	09:06	3.456
Mário Yoneyama I	São Carlos	BWP	08:00	8	BWP	09:06	09:57	3.027
(17) Aves:	34.283 aves							
(18) Média:	54,27 minutos							
(19) H. T:	12:40 horas							
(20) Observação:								

FONTE: Trevizoli e Cia Ltda

Na Tabela 2.4, tem-se a Programação Diária dos Motoristas prevista para o dia 04/10/2004 feita manualmente pelo proprietário da empresa de apanha. Neste dia, houve um total de 30 cargas e somente 11 caminhões estiveram trabalhando, dos quais 3 deles fizeram duas viagens, e os 8 restantes, cada um, realizou três viagens.

Pode-se observar na Tabela 2.4, entre outras informações, o horário de saída de cada caminhão, a quantidade de aves a serem carregadas, os horários de saída de cada equipe, a ordem que deve ser feita a descarga de cada caminhão. Observa-se que neste dia alguns caminhões foram carregadas com 6 aves por gaiola, como uma experiência realizada pela empresa.

A seguir tem-se a descrição dos números que se encontram inseridos entre parênteses em cada campo da Tabela 2.4 .

- (1) - Nome da empresa;
- (2) - Tipo de atividade;
- (3) - Data do abate (dia/mês/ano);
- (4) - Dia da semana;
- (5) - Nome do granjeiro (integrado);
- (6) - Equipe responsável pelo apanhe das aves;
- (7) - Cidade de referência da localização da granja;
- (8) - Distância, em km, da Avícola até a granja;
- (9) - Horário previsto de saída das equipes de apanha;
- (10) - Caminhão (placa) previsto para o carregamento;
- (11) - Horário previsto para o início do carregamento;
- (12) - Ordem prevista para descarga;
- (13) - Total de quilômetros percorridos por todos os caminhões (apenas viagem de ida);
- (14) - Campo destinado para alguma observação relevante.

Os números que aparecem entre parênteses após os nomes dos granjeiros Carlos R. Negri (7), e Rubens Negrão (6) e (7), referem-se a quantidade de aves que foram carregadas em cada gaiola, neste dia.

Tabela 2.4: PROGRAMAÇÃO DIÁRIA DOS MOTORISTAS

TREVIZOLI (1)	PROGRAMAÇÃO DIÁRIA (2)						
	DIA: 04/10/04 (3)		SEGUNDA-FEIRA (4)				
	GRANJEIROS (5)	EQUIPE (6)	CIDADE (7)	DISTÂNCIA (8)	SAÍDA (9)	PLACA (10)	INÍCIO (11)
Rogério Brambila I/II/III	J	São Tomé	95	22:00	ACO	23:00	1
Rogério Brambila I/II/III	J	São Tomé	95		KDO	23:40	2
Rogério Brambila I/II/III	J	São Tomé	95		AEY	00:30	3
Rogério Brambila I/II/III	J	São Tomé	95		BWP	01:20	4
Rogério Brambila I/II/III	J	São Tomé	95		JTP	02:10	5
Rogério Brambila I/II/III	J	São Tomé	95		HQG	03:00	6
Rogério Brambila I/II/III	J	São Tomé	95		AEA	03:40	7
Mário Yoneyama	J	São Carlos	46		KOL	05:30	9
Mário Yoneyama	J	São Carlos	46		ACJ	06:20	11
Mário Yoneyama	J	São Carlos	46		KDO	07:10	14
Mário Yoneyama	J	São Carlos	46		BWP	08:00	16
Hércules Cestaro I/II	V	Guairaça	37	04:30	BXB	05:00	8
Hércules Cestaro I/II	V	Guairaça	37		GQQ	05:45	10
Hércules Cestaro I/II	V	Guairaça	37		ACO	06:30	12
Hércules Cestaro I/II	V	Guairaça	37		AEY	07:10	13
Hércules Cestaro I/II	V	Guairaça	37		JTP	07:55	15
Lourival Aparecido	A	S.C.M.C.	87	08:00	HQG	09:30	17
Lourival Aparecido	A	S.C.M.C.	87		AEA	10:10	19
Lourival Aparecido	A	S.C.M.C.	87		BXB	10:50	21
Lourival Aparecido	A	S.C.M.C.	87		KOL	11:30	23
Carlos R. Negri (7)	V	Guairaça	34		GQQ	10:40	18
Carlos R. Negri (7)	V	Guairaça	34		ACJ	11:20	20
Carlos R. Negri (7)	V	Guairaça	34		AEY	12:00	22
Rubens Negrão (6)	A	S.C.M.C.	91		ACO	13:30	24
Rubens Negrão (6)	A	S.C.M.C.	91		KDO	14:10	25
Rubens Negrão (7)	A	S.C.M.C.	91		JTP	14:50	26
Rubens Negrão (7)	A	S.C.M.C.	91		BWP	15:30	27
Rubens Negrão (7)	A	S.C.M.C.	91		HQG	16:15	28
Rubens Negrão (7)	A	S.C.M.C.	91		GQQ	16:55	29
Rubens Negrão (7)	A	S.C.M.C.	91		AEA	17:35	30
(13) TOTAL:			2.121 km				
(14) Observação: Chegada: 20:30h							

FONTE: Trevizoli e Cia Ltda

Na Tabela 2.5, encontram-se discriminados os totais de viagens, realizadas por cada caminhão, de acordo com suas placas, além da quilometragem percorrida por cada um deles, somente ida, referente ao dia 04/10/2004.

Tabela 2.5: TOTAL DE VIAGENS E DISTÂNCIAS PERCORRIDAS POR CAMINHÃO

Caminhão (Placa)	Total de Viagens	Distância Total (km)
ACJ	2	80
ACO	3	223
AEA	3	273
AEY	3	166
BWP	3	232
BXB	2	124
GQQ	3	162
HQG	3	273
JTP	3	223
KDO	3	232
KOL	2	133
TOTAL	30	2.121

FONTE: Trevizoli e Cia Ltda

A seguir tem-se a descrição dos campos da Tabela 2.6.

- (1) - Data do abate (dia/mês/ano);
- (2) - Total de cargas;
- (3) - Nome do integrado (granjeiro);
- (4) - Caminhão (placa) que transportou as aves;
- (5) - Quantidade de aves transportada pelo caminhão;
- (6) - Peso líquido das aves;
- (7) - Peso médio das aves;
- (8) - Mortalidade (quantidade de aves mortas);
- (9) - Taxa, em %, de mortalidade;
- (10) - Horário de chegada do caminhão na Avícola;
- (11) - Horário de início do abate;
- (12) - Tempo de espera para o início do abate.

E por último a Tabela 2.6, fornece o demonstrativo do abate referente ao dia 04/10/2004, onde pode-se observar uma taxa de mortalidade de 0,07%, num total de 60 aves; percebe-se na coluna **Tempo Espera**, que os 4 primeiros caminhões tiveram uma tempo de

espera muito elevado. A média ponderada do tempo de espera, tendo como peso o número de aves transportada por cada caminhão, para as 4 primeiras cargas, foi de 2h28, ou seja, 148min. Já o primeiro caminhão teve que esperar 3h15 para o abate de sua carga, sendo que o tempo ideal de espera, considerado pela Avícola, é de 25min. Porém, considerando todas as 30 cargas, a média ponderada, do tempo de espera para o abate foi de 39,2min.

Tabela 2.6: DEMONSTRATIVO DE ABATE DIÁRIO POR INTEGRADO DA AVÍCOLA FELIPE REFERENTE A 04/10/2004

(1) 04/10/04		Placa	Quant.	Peso	Peso	Morta-	% de	Hor.	Hor.	Tempo
Carga	Integrado		aves	Líqu.	Méd.	lidade	Mortal.	Cheg.	Abate	Espera
(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)
1	Rogério Brambila	ACO	2.816	6.500	2,308	3	0,11	01:45	05:00	3:15
2	Rogério Brambila	KDO	3.456	7.940	2,297	1	0,03	02:30	05:22	2:52
3	Rogério Brambila	AEY	3.456	8.060	2,332	1	0,03	03:40	05:51	2:11
4	Rogério Brambila	BWP	3.456	7.790	2,254	2	0,06	04:36	06:19	1:43
5	Rogério Brambila	JTP	3.456	7.680	2,222	1	0,03	05:48	06:47	0:59
6	Rogério Brambila	HQG	2.400	5.330	2,221	0	0,00	06:53	07:15	0:22
7	Rogério Brambila	AEA	2.144	4.550	2,122	1	0,03	07:20	07:35	0:15
8	Hércules Cestaro	BXB	3.456	8.790	2,543	2	0,06	07:22	07:54	0:32
9	Hércules Cestaro	GQQ	2.816	7.200	2,557	1	0,03	07:48	08:20	0:32
10	Mário Yoneyama	KOL	3.456	8.580	2,483	2	0,06	08:24	08:46	0:22
11	Mário Yoneyama	ACJ	3.160	7.970	2,522	0	0,00	09:05	09:34	0:29
12	Hércules Cestaro	ACO	2.816	7.070	2,511	8	0,28	09:03	10:26	1:23
13	Hércules Cestaro	AEY	3.456	8.850	2,561	3	0,11	09:49	11:06	1:17
14	Mário Yoneyama	KDO	3.456	8.730	2,526	3	0,11	10:10	11:34	1:24
15	Hércules Cestaro	JTP	2.026	5.040	2,488	4	0,20	10:16	12:02	1:46
16	Mário Yoneyama	BWP	3.027	7.390	2,441	3	0,11	10:50	12:19	1:29
17	Carlos Roberto	GQQ	2.464	5.840	2,370	11	0,45	11:49	12:44	0:55
18	Lourival Aparecido	HQG	2.560	6.320	2,469	1	0,03	12:38	13:02	0:24
19	Carlos Roberto	ACJ	3.024	7.140	2,361	1	0,03	12:53	13:44	0:51
20	Lourival Aparecido	AEA	2.560	6.370	2,488	3	0,11	13:41	14:20	0:39
21	Carlos Roberto	AEY	1.917	4.490	2,342	1	0,03	13:34	14:50	1:16
22	Lourival Aparecido	BXB	3.456	8.640	2,500	2	0,06	14:40	15:13	0:33
23	Lourival Aparecido	KOL	3.267	8.170	2,501	0	0,00	15:30	15:55	0:25
24	Rubens Negrão	ACO	2.112	4.620	2,188	3	0,11	16:46	16:55	0:09
25	Rubens Negrão	KDO	2.592	5.790	2,234	0	0,00	17:27	18:27	1:00
26	Rubens Negrão	JTP	3.024	6.530	2,159	1	0,03	18:28	18:57	0:29
27	Rubens Negrão	BWP	3.024	6.620	2,189	0	0,00	19:29	19:36	0:07
28	Rubens Negrão	HQG	2.240	4.930	2,201	2	0,06	20:22	20:32	0:10
29	Rubens Negrão	GQQ	2.464	5.400	2,192	0	0,00	21:07	21:16	0:09
30	Rubens Negrão	AEA	2.128	4.660	2,190	0	0,00	22:04	22:12	0:08
TOTAL			85.685	202.990	2,369	60	0,07			

FONTE: Avícola Felipe S. A.

Capítulo 3

REVISÃO DA LITERATURA

3.1 Aplicações da Pesquisa Operacional ao Transporte

Nesta seção encontram-se resumidos alguns trabalhos que fazem uso da Pesquisa Operacional (PO) relacionados a problemas de transporte.

3.1.1 O Problema do Roteamento de Veículos com Janelas de Tempo

Conforme a literatura, os problemas de roteamento de veículos com janelas de tempo são denominados de PRVJT. Estes problemas podem ser formulados, segundo BRAMEL e SIMCHI-LEVI (1997), através da seguinte situação:

Seja um conjunto de clientes dispersos em uma região geográfica que devem ser atendidos por uma frota de veículos inicialmente localizados em um depósito. Onde cada cliente requer uma quantidade de produto que deve ser atendida sendo especificado um período de tempo, chamado **janela de tempo**, no qual o abastecimento deve acontecer. O volume total transportado em cada veículo não pode superar sua capacidade de carga. O objetivo consiste em determinar uma série de rotas para os veículos, onde cada rota começa e termina no depósito, satisfazendo as quantidades demandadas dos clientes e minimizando o comprimento total das rotas.

A solução de problemas deste tipo se dá em duas etapas: programação e roteamento. Para RONEN (1988) e ARCE (1997), entende-se por programação (*scheduling*), o planejamento do tempo em que ocorrerá cada um dos eventos da rota de um determinado veículo, e por roteamento ou roteirização (*routing*), o planejamento da rota que será utilizada pelo veículo.

Este tipo de problema é classificado, segundo a literatura, como *NP-hard*¹, e a maioria das pesquisas dedicadas à sua solução, são de natureza heurística como nos trabalhos de WEINTRAUB *et al.* (1994), BRAMEL e SIMCHI-LEVI, (1997) e KOHL e MADSEN, (1997). Uma heurística é um conjunto de regras e métodos que visam à descoberta, à invenção ou à resolução de problemas.

Um resumo das técnicas já empregadas para solucionar um PRVJT pode ser encontrado nos trabalhos de SOLOMON e DESROSIERS (1988) e FISHER *et al.* (1997).

3.1.2 O Transporte Através de uma Frota de Caminhões

De acordo com RONEN (1988) e ARCE (1997), a roteirização e a programação de caminhões é diferente da roteirização e da programação de outros tipos de veículos, que prestam serviços como:

1. Transporte de passageiros: ônibus, táxis, etc;
2. Operações de reparações e serviços: auxílio mecânico, coleta de lixo, etc.

Devido a variedade dos problemas de roteirização e programação de caminhões, RONEN (1988), sugere o seguinte esquema para classificá-los:

1. Tamanho da frota:
 - (a) Um caminhão;
 - (b) Mais que um caminhão;
2. Características físicas da frota:
 - (a) Caminhões idênticos;
 - (b) Diferentes tipos de caminhões;

¹Do inglês *Non Polynomial-hard* (Não Polinomial Difícil), isto é, problema que não apresenta formulação polinomial.

3. Estrutura de custos da frota:
 - (a) Custos idênticos para todos os caminhões;
 - (b) Custos diferentes (mas com a mesma estrutura);
 - (c) Estruturas diferentes de custos;
4. Componentes do custo:
 - (a) Custo estabelecido por rota;
 - (b) Custo estabelecido pelo proprietário;
5. Número de depósitos (garagens) para caminhões:
 - (a) Um depósito;
 - (b) Mais de um depósito;
6. Tipo de operação:
 - (a) Somente descarga;
 - (b) Somente carga;
 - (c) Carga e descarga sequenciais (descarregar antes de carregar, ou vice-versa);
 - (d) Carga e descarga misturadas;
7. Número de viagens por caminhão para o período de planejamento:
 - (a) Uma viagem;
 - (b) Mais de uma viagem;
 - (c) Uma viagem é mais extensa do que o período de planejamento;
8. Tempo por rota dos caminhões:
 - (a) Limitado (mesmo limite para todos os caminhões);
 - (b) Limitado (limites diferentes para cada caminhão);
 - (c) Ilimitado;
9. Rede viária:
 - (a) Direcionada;
 - (b) Não direcionada;
 - (c) Mista;
10. Distâncias e tempos:

- (a) Medidos (tabelados);
- (b) Estimados;
- (c) Medidos e estimados;
- (d) Estocásticos;

11. Objetivo:

- (a) Minimização de custos;
- (b) Minimização de distâncias ou tempos;
- (c) Minimização do número de caminhões utilizados;
- (d) Maximização do lucro (ou da renda bruta);
- (e) Equilibrar o trabalho dos caminhões;
- (f) Minimização da utilização dos caminhões terceirizados;
- (g) Minimização do risco.

3.1.3 Uma Abordagem de Decomposição para um Problema de Programação de Veículo Multi-período

KIM, J. U. e KIM, Y. D. (1999), sugeriram e desenvolveram um algoritmo heurístico de duas fases para resolver o problema de programação de veículo com multi-período (PPVMP) em um sistema de transporte onde uma frota de veículos homogênea (veículos com mesma capacidade de carga) faz a entrega de um único tipo de produto, a partir de um depósito central, para muitos varejistas, tendo como objetivo a minimização dos custos de transportes e custo de estocagem nos varejistas sobre um horizonte de planejamento.

O problema foi resolvido usando duas abordagens: um algoritmo heurístico de duas fases e programação inteira binária mista. Testes foram feitos em 20 problemas gerados com 3 veículos, 4 varejistas e 5 períodos. As soluções ótimas, para a segunda abordagem, foram obtidas em 328,7 segundos, usando o CPLEX 4.0, um pacote de software comercial para problemas de programação inteira. O algoritmo heurístico encontrou as soluções ótimas em 10 dos 20 problemas testados, em um tempo médio computacional de 1,6 segundos.

3.1.4 Um Sistema de Programação de Veículos para Melhorar a Eficiência nas Indústrias Florestais

WEINTRAUB, *et al.* (1996), desenvolveram um sistema denominado ASICAM com o objetivo de melhorar a eficiência do transporte de matéria-prima nas indústrias florestais do Chile. Este sistema auxiliava na programação dos horários dos caminhões no transporte de madeiras.

O objetivo básico era satisfazer a demanda para os diferentes produtos em cada destino, enquanto se minimizava o custo de transporte dentro de restrições técnicas, políticas e de trabalho. No modelo de simulação, foram utilizadas algumas regras heurísticas de designação.

O Modelo de Simulação

O processo de simulação considerou principalmente os seguintes fatores:

1. Demanda e oferta para cada produto;
2. Disponibilidade dos caminhões e guindastes, com os custos correspondentes e tempos para viagens, incluindo carga e descarga;
3. Regularidade na satisfação da demanda para cada produto (em alguns casos com prioridades que são vitais). Remover produtos de pontos de ofertas é menos crítico.

Aos fatores citados acima, foram considerados os seguintes elementos adicionais:

1. Geralmente motoristas de caminhões e operadores de guindastes param ao meio dia para almoço. Se um caminhão está iniciando a carga ou descarga naquele momento, o motorista e o operador de guindaste iniciarão o almoço depois;
2. Uma pequena quantidade de horas extras é permitida para completar as tarefas;
3. Alguns caminhões são designados para determinadas origens;

4. Para cada origem, é designado um caminhão, em consistência com outras decisões, como o primeiro a ser carregado. Este caminhão leva o operador de guindaste para o local da carga;
5. No modelo de simulação, uma origem é definida para cada guindaste que está carregando caminhão, em alguns casos dois guindastes podem estar trabalhando muito perto um do outro. Para os destinos podem ser designados um ou mais guindastes;
6. Os motorista deveriam realizar as suas primeira e última viagens, próximo à sua cidade natal;
7. Para satisfazer a condição de igualdade de rendimento, foi adotado um sistema de rendimento equilibrado. Assim, a caminhões que têm menos rendimento em um período (normalmente uma semana) são dadas maior prioridade para ingressar primeiro e para fazer uma viagem adicional.

Regras Heurística de Designação

Foi gasto aproximadamente um ano, testando problemas em diferentes empresas, até que se conseguiu convergência sobre um conjunto de regras heurísticas para o modelo de simulação. A seguir são descritos os elementos principais considerados para gerar as regras:

1. **Regularidade na chegada aos destinos.** Por causa da capacidade de carregamento nos destinos e as operações rio abaixo, as chegadas aos destinos devem ser regulares, o que não é comum como num ciclo completo (viagem para origem, carga, viagem para o destino, descarga) que pode durar de 1,5 a 5 horas, dependendo da localização da origem e do destino. Para manter a regularidade requerida, o sistema gera dados, para determinar quando um destino estará em necessidade crítica de provisão;

2. **Necessidade de cada viagem factível.** Define-se um índice para cada viagem factível i , do caminhão j , que considera o custo real total e uma penalidade de congestionamento. O custo real total, que inclui custos operacionais e custos fixos, é rateado pelo número de horas que o caminhão é usado. A penalidade para o congestionamento na origem, é estimada por uma heurística que depende:
 - (a) Dos caminhões que podem carregar ao mesmo tempo em uma dada origem;
 - (b) Das alternativas de viagens disponíveis para aqueles caminhões;
 - (c) Da probabilidade de seleccionar uma viagem conflitante;
3. **Seleção da próxima viagem a ser designada.** Baseda no índice de necessidade, descrito unicamente no contexto das três prioridades seguintes:
 - (a) A primeira prioridade é para viagens do destino com requerida urgência. Por exemplo, se um destino requer quatro caminhões por hora, e foram designados apenas dois, e tem-se pouca opção de disponibilidade para suprir os outros dois, então, aquelas viagens se tornam primeira prioridade. Escolhe-se o melhor índice entre todas as viagens com primeira prioridade;
 - (b) A segunda prioridade é para alguns destinos que podem ter ficados para trás. Apesar da prioridade para satisfazer as demandas, alguns destinos podem ficar para trás nas suas programações. Para recuperar aqueles caminhões carregados perdidos, designa-lhes uma segunda prioridade;
 - (c) Dá-se a terceira prioridade para as origens que ficaram para trás. Determina-se o nível de estoque excessivo em um dado tempo, assumindo que a oferta total deve ser transportada uniformemente ao longo do dia. Escolhe-se o melhor índice entre todas as viagens com a terceira prioridade, se não existir a primeira ou segunda prioridade.

Finalmente, escolhe-se o melhor índice entre todas as viagens restantes. Porque a cada dia corresponde um processo de simulação independente, as prioridades representam mais uma regra importante para o finalização do dia simulado. Para WEINTRAUB *et al.* (1996), a experiência indica que as soluções obtidas são sólidas, em termos de transporte e custos operacionais usadas no modelo, e assim nenhuma fórmula de custo altamente sofisticada ou exata é requerida.

Implementação do Sistema

O sistema ASICAM foi programado em FORTRAN e implementado em oito grandes empresas florestais no Chile. A execução do programa levava aproximadamente três minutos para as frotas maiores. Depois da execução diária no computador, o programador implementava 95 por cento da solução computacional de uma maneira direta, fazendo poucos ajustes manuais ou uma pequena execução adicional para obter algumas melhorias. Desenvolvimentos futuros permitirão ajustes automatizados. Todos os caminhões têm números de identificação. As empresas mantêm estatísticas que refletem o desempenho diário do sistema a cada mês para apoiar avaliações de desempenho.

Na época da implementação, o sistema estava definido com as seguintes dimensões, que correspondia ao problema de maior tamanho no Chile:

1. 300 caminhões;
2. 90 origens;
3. 50 destinos;
4. 20 tipos de produtos;
5. 10 tipos de caminhões;
6. 15 classes de caminhões;
7. 8 nós durante a noite.

Usando um PC 486/66, com um co-processador matemático, um problema com 20 caminhões, 40 origens, e 15 destinos levava aproximadamente três minutos para ser resolvido. Os dados de saída do software incluíam programação de trabalho para origens, destinos, caminhões e informações estatísticas sobre o sistema.

Benefícios do Uso do Sistema

A implementação do sistema forneceu benefícios significantes, ambos quantitativos e qualitativos. A melhoria quantitativa tem sido medida em termos de redução na frota de caminhões, número de guindastes, custos operacionais, e custo total de transporte.

Conforme o aumento de produtividade, as fábricas precisam de menos caminhões, conforme pode-se verificar na Tabela 3.1. Isto permitiu um decréscimo nos investimentos de capital. Como normalmente são compartilhados rendimentos, os caminhões que permanecem no sistema têm melhorado seus desempenhos. Na maioria dos casos, a reorganização administrativa do sistema explicou uma significativa melhoria. Como diminuíram picos de demandas, o número de guindastes necessários para carregamento e descarregamento diminuiu aproximadamente 20 por cento.

Tabela 3.1: NÚMERO DE CAMINHÕES DE QUATRO EMPRESAS FLORESTAIS NECESSÁRIOS PARA PUXAR VOLUME SIMILAR DE MADEIRA DE CONSTRUÇÃO ANTES E APÓS A IMPLEMENTAÇÃO DO ASICAM

Fábricas	Antes do ASICAM	Depois do ASICAM
Bosques Arauco	156	120
Florestal Millalemu	80	50
Florestal bio bio	118	76
Florestal Rio Vergara	120	80

Outro benefício é que se verificou uma maior eficiência na designação das viagens iniciais, tornando-as mais curtas e com menor formação de filas. Usando o sistema, as

empresas de florestas reduziram seus custos operacionais acima de 20 por cento. Considerando todos estes elementos, eles foram capazes de reduzir seus custos totais de 18 a 26 por cento, dependendo de suas situações iniciais.

As empresas também alcançaram benefícios qualitativos, como:

1. Melhoria no controle global dos seus sistemas, organizando estoques de madeira de construção nas origens, mantendo os caminhões e guindastes em boa forma, e controlando interrupções que acontecem durante o dia;
2. Entrega regular a nós de demanda, conseguindo conter as operações rio abaixo;
3. Melhoria significativa da qualidade de vida dos motoristas de caminhões, que passaram a ter horários de trabalhos mais normais, com a redução da média de horas trabalhadas de 14 para 10 horas.

3.2 Algumas Aplicações Desenvolvidas no Setor Avícola

Nesta seção encontram-se resumidos alguns trabalhos que foram desenvolvidos no setor avícola.

3.2.1 Aplicação na Empresa Avícola Felipe S. A.

LIMA (2004), em seu trabalho desenvolvido na Avícola Felipe S. A., fez uso de métodos e conceitos relacionados à Pesquisa Operacional, como uma ferramenta na tomada de decisões relacionadas ao alojamento e desalojamento de aves.

O trabalho foi direcionado no sentido de responder a três perguntas básicas, referentes ao alojamento e desalojamento das aves, nos mais de 350 produtores integrados que a empresa tinha na época, a saber:

1. Onde alojar?
2. Quando alojar?
3. Quando desalojar?

O objetivo principal do trabalho era conseguir que o abate do frango ocorresse o mais próximo possível do 43º dia, tempo considerado ideal pela empresa para o abate das aves, buscando também a satisfação do produtor, fazendo com que o mesmo ficasse o menor tempo possível com o galpão vazio, satisfazendo as condições de higiene; também, rapidez no sentido de introduzir no processo um novo integrado, melhorando a performance do processo e respostas instantâneas, no caso de haverem mudanças repentinas no processo de demanda ou de oferta.

Função objetivo:

$$Min F = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^7 \sum_{k=40}^{46} |k - j + 1 - 43| x_{ijk} + \sum_{p=1}^n \sum_{r=1}^7 \sum_{k=40}^{46} |k + r - 43| y_{prk} \quad (3.1)$$

Variáveis de Decisão:

- $x_{ijk} = 1$, se o galpão i , será alojado no dia j e será desalojado no dia k ;
0, em caso contrário;
- $y_{prk} = 1$, se o galpão p , já alojado no dia r será desalojado no dia k ;
0, em caso contrário;

Dados:

C_i = Capacidade do galpão a ser alojado i ;

C_p = Capacidade do galpão já alojado p ;

C = Capacidade de todos os galpões integrados à Avícola;

D_k = Demanda para o dia k em número de cabeças;

S_j = Oferta de pintainhos para alojar no dia j ;

d_i = Distância do aviário i a Avícola;

m = Número de galpões vazios no dia DR ;

n = Número de galpões já alojados na semana anterior ao dia DR .

Onde:

DR = Dia em que o programa é rodado para tomada de decisão do alojamento da semana

seguinte, visando definir quais galpões receberão alojamento nos dias j posteriores

$j = 1, 2, 3, 4, 5, 6$ e 7 .

Como se espera abater o frango o mais próximo possível do 43º dia, então a idade do frango ao abate será $k - j + 1$ (o termo “1”, porque o pintainho já vai para o produtor com um dia de vida) para os que serão alojados ou $k + r$ dias para os galpões já alojados.

Restrições:

O modelo de programação linear contava com 5 grupos de restrições, a saber:

1. Restrições quanto ao suprimento de demanda;
2. Restrições quanto à capacidade de abastecimento de pintainhos;
3. Restrições quanto à distância média para desalojamento;
4. Restrição que garante que o mesmo lote não será desalojado 2 vezes na mesma semana;
5. Restrição que garante que o mesmo lote não será alojado mais de uma vez na mesma semana.

Implementação Computacional

O modelo foi implementado computacionalmente utilizando o software LINGO que é um pacote que faz parte integrante do pacote *Lindo Solver Suite (Linear Interactive and Discrete Optimizer)*.

Conclusão

Pode-se resumir que ao longo da cadeia de produção haverá ganhos significativos, principalmente pelo fato de haver um maior aproveitamento de cada lote, com o abate ocorrendo o mais próximo possível do ótimo (43 dias). Também será possível obter uma maior satisfação do integrado com um aumento de lucro objetivado pelo maior aproveitamento do galpão, tentando alocar em cada galpão até 7 lotes por ano. Na época a empresa trabalhava com uma média de 6 alojamentos ao ano para cada galpão o que pode ser melhorado consideravelmente.

3.2.2 Aplicação na Empresa Frango SEVA Ltda

SCHEITT (2003), em seu trabalho desenvolvido na empresa SEVA Ltda de Pato Branco - PR, fez uso de métodos matemáticos na área de Pesquisa Operacional como ferramenta de suporte no processo produtivo, auxiliando as tomadas de decisões no processo de industrialização e comercialização de carne de frango.

O trabalho apresentava os principais objetivos:

1. Aumentar a produção de produtos que agregassem maior lucro;
2. Melhorar e aumentar o controle de custos, identificando com detalhes os custos e suas origens;
3. Adquirir segurança e elasticidade na elaboração do preço de venda, usando este controle com estratégia nos mais variados preços de produtos, aumentando o poder de concorrência e competitividade;
4. Responder com rapidez às exigências e oscilações do mercado, devido a total sincronia entre uma ponta e outra da cadeia de produção;

5. Fazer estudos rápidos com respostas instantâneas através de simulações de cenários diferentes de demanda com ampla variedade de produtos;
6. Obter de forma instantânea através da melhor combinação de venda de produtos, associados aos pontos de venda, indicando o máximo lucro possível.

Duas perguntas nortearam o seu trabalho:

1. Como vender o produto?
2. Onde vender o produto?

Para responder as duas perguntas, foi construído um modelo matemático, utilizando-se a programação linear, concretizando as operações de produção e venda da carne, escolhendo aquelas combinações que resultavam no maior lucro para a empresa.

O modelo foi desenvolvido utilizando uma função objetivo de maximização do lucro, considerando o preço de venda de cada produto praticado em cada região, e os custos que interferem na decisão de escolha, já descontados.

Função Objetivo:

Sendo:

P_{ij} = Quantidade (kg) do produto i a ser enviada a região j ;

PV_{ij} = Preço (R\$/kg) do produto i na região j (com custo já descontado).

$$Max \sum_{i=1}^{NP} \sum_{j=1}^{NR} PV_{ij} P_{ij} \quad (3.2)$$

Onde:

NR = Número de regiões;

NP = Número de produtos.

Restrições:

O problema de Programação Linear contava com 579 variáveis e 632 restrições, que foram divididas em 18 grupos, dos quais serão citados apenas cinco:

1. Restrições de suporte;
2. Restrições dos miúdos;
3. Restrições de frango inteiro;
4. Restrições de frango cortados em partes;
5. Restrições de quantidades (kg) de produto individual, que deve ser vendido em todas as regiões. As restrições terão uma variação percentual, em torno da média de venda atual da empresa;
6. Restrições de quantidades (kg) de produto individual, que não deve ultrapassar certo percentual de venda numa determinada região, em relação a produção total deste produto.

Implementação Computacional e Avaliação dos Resultados

O modelo foi implementado computacionalmente, utilizado o software LINGO versão 6.0, que foi produzido e desenvolvido na cidade de Chicago, nos EUA.

Na avaliação dos testes realizados, constatou-se que com poucas alterações no processo de produção e comercialização, obteve-se lucro adicional em torno de 5%, considerado o lucro atual da empresa naquele momento.

3.2.3 Aplicação na Empresa SADIA Concórdia S. A.

Nesta subseção será feita uma sucinta descrição do trabalho desenvolvido por TAUBENNETTO (1996) para a empresa SADIA Concórdia S. A. Primeiramente, será feito um breve

histórico da empresa SADIA e em seguida a descrição do sistema de Planejamento Integrado de Produção de Aves (PIPA), desenvolvido por TAUBE-NETTO.

A Empresa SADIA Concórdia S. A.

A SADIA foi fundada em 1944 em Concórdia, uma cidade no oeste do estado de Santa Catarina, no sul do Brasil. Em 1994 o grupo SADIA compreendia 19 companhias com 24 instalações industriais espalhadas pelo país. Nesta época, o grupo empregava mais de 30.000 trabalhadores, tinha uma renda anual maior que US\$ 2,5 bilhões e exportava sua produção para mais de 40 países. Em 2004, a SADIA foi também a maior produtora brasileira de aves domésticas, carne processada, carne de porco, carne de boi e a segunda maior processadora de grãos de soja do país.

O Sistema PIPA

O sistema PIPA busca otimizar decisões ao longo dos estágios de produção, apoiando o planejamento e controlando todas as atividades ao longo da cadeia de decisão, respondendo perguntas importantes dentro do processo de produção, tais como:

1. Quando e quantos pintainhos avós² a SADIA deveria comprar?
2. Quando deveria descartar e substituir os rebanhos atuais dos avós e pais³?
3. Quando um produtor particular deveria alojar um rebanho de pintainhos de corte?
4. Quando deveria abater cada rebanho?
5. Quanto de cada produto deveria ser alocado em cada indústria trimestralmente, mensalmente e semanalmente?

²São os pintainhos responsáveis pela produção dos pintainhos de corte.

³São os pintainhos filhos dos pintainhos avós.

6. Como poderia adaptar rebanhos com o abate e a capacidade de produção diária?
7. Como poderia sincronizar rebanho em corte com o pendurado para prover uma distribuição própria de peso durante a produção diária?

O sistema PIPA é composto de diversos módulos que interagem entre si, e está arranjado em três níveis: estratégico, tático e operacional. Todos os módulos são otimizados usando técnicas de programação matemática. O sistema está amparado por suporte estatístico e é complementado com um módulo de formulação alimentar.

No nível estratégico encontra-se o planejamento do fluxo global de ovos para incubadoras, pintainhos para produtores, frangos de corte para as indústrias e produtos para mercados.

Nos níveis tático e operacional tem-se a execução do planejamento dinâmico e controle. No nível tático, é feito o planejamento de pintainhos, simultaneamente sincronizado com o ciclo de colocar ovos dos avós e pais com a exigência de suprir pintainhos de corte. No nível operacional, também denominado de planejamento da localidade, determina-se o alojamento, o abate e os horários de produção para cada localidade baseado no estado atual dos rebanhos e da capacidade de abate diária, a demanda estimada para a família de produtos, os preços dos produtos e ração e custo dos pintainhos, objetivando maximizar uma margem de lucros das localidades. Neste nível, a principal decisão a ser tomada é determinar quantos pintainhos poderão ser alojados todos os dias para prover a quantidade apropriada e a distribuição de peso das aves para os meses seguintes.

Dentro do sistema PIPA, a SADIA realiza o alojamento atual de cada produtor particular com o suporte do módulo de Controle e Planejamento de Rebanho. Este módulo também determina os rebanhos individuais a serem abatidos todos os dias, baseando-se numa perfor-

mance da estimativa atual dos rebanhos previamente alojados. O módulo de Controle e Planejamento da Indústria leva em conta o horário de abate e sua conseqüente distribuição de peso de aves diariamente, conseqüentemente determinando o horário de produção para a localidade durante os próximos 7 a 15 dias, baseando-se na demanda confirmada. No Módulo de Planejamento Local é tomada a decisão com relação a idade de abate de cada grupo do rebanho com a finalidade de prover aves suficientes para encontrar a demanda das famílias de produtos, respeitando a capacidade de abate.

Entre os diversos módulos do sistema PIPA, encontra-se um módulo denominado APANHA, o qual deu idéia para o desenvolvimento do presente trabalho. Este módulo é o responsável pela programação da ordem de apanha dos lotes nos diversos agricultores, levando em conta os perfis de peso dos frangos necessários em cada dia, as distâncias e as disponibilidades de transporte.

Modelagem do Problema e Implementação Computacional

O trabalho foi desenvolvido e implementado por uma equipe da UNISOMA com cerca de 20 pessoas em sociedade com a área empresarial do setor avícola da SADIA. A UNISOMA é uma empresa de consultoria que trabalha com Pesquisa Operacional, especializada no planejamento de produção industrial, particularmente nos negócios de agricultura.

Para modelar o problema foram criados grupos de variáveis. Por exemplo, em cada grupo de rebanhos, a variável $Y(g, j)$, denotava a porcentagem de aves do grupo g a ser abatida no dia j . Esta porcentagem era ajustada mais tarde para corresponder ao abate de rebanhos inteiros individuais quando o dia j realmente ocorresse. Já a variável $X(b, i, j)$ determinava o número de pintainhos do tipo b a serem alojados no dia i para serem abatidos no dia j . Este número de pintainhos a serem alojados seria ajustado quando o dia i realmente ocorresse

para alojar rebanho individual (normalmente contendo cerca de 12.000 pintainhos). A variável $W(f, j)$ representava a quantidade de toneladas do produto da família f a serem produzidas no dia j . Estes três conjuntos de variáveis estavam relacionados com a finalidade de encontrarem a demanda futura de todos os produtos com o passar do tempo, com respeito a capacidade diária de alojamento, abate, e corte.

Na Tabela 3.2, encontram-se alguns dados a respeito dos números de variáveis, restrições e elementos não nulos de alguns módulos do sistema PIPA.

Tabela 3.2: VALORES TÍPICOS DOS TAMANHOS DOS PROBLEMAS IMPLEMENTADOS NA SADIA

Módulo	Número de Variáveis	Número de Restrições	Elementos não nulos
Planejamento da Localidade	20.000	5.000	100.000
Planejamento do Rebanho e Controle	8.000	2.000	180.000
Planejamento da Fábrica e Controle	11.000	4.000	60.000
Planejamento da Troca e Controle	9.000	3.000	30.000
Planejamento dos Pintainhos	130.000	35.000	250.000
Planejamento Global Integrado	5.000	2.000	90.000

FONTE: UNISOMA

A implementação computacional do sistema PIPA foi feita em linguagem de programação C sobre uma plataforma Unix e foi usado o software OSL de programação matemática da IBM, exceto para o módulo de Controle e Planejamento de Troca de Produção e o módulo de Planejamento Global Integrado, que foi desenvolvido em GAMS, com um link para OSL. O sistema PIPA dedicou 370 estações de trabalho e oito modelos IBM RS/6000, sete dos quais estavam nos sistemas de processamento das fábricas e o oitavo na SADIDATA na cidade de São Paulo, onde parte da equipe que desenvolveu o programa ficava concentrada.

A implementação computacional do sistema PIPA se deu por etapas e o primeiro módulo a ser implementado, em dezembro de 1990 na indústria de Concórdia, foi um módulo que fazia a determinação do alojamento e das datas de processamento.

Com a instalação do módulo de Controle e Planejamento da Fábrica aumentou-se o nível de planejamento e diminuiu-se a diferença entre o horário planejado e o executado.

Benefícios

Os benefícios diretos obtidos pela SADIA com o sistema PIPA podem ser divididos em quatro categorias:

1. Melhoria da conversão da ração (que é um dos mais relevantes indicadores para indústria de aves);
2. Produtos com maior valor agregado;
3. Respostas mais rápidas para flutuações do mercado;
4. Maior sensibilidade para oportunidades de mercados.

Variando a idade de processamento e mistura de vendas em mais ou menos 10% de cada produto a empresa pode aumentar a margem de lucros total em até 14%.

Outros benefícios indica que praticamente 100% dos planos críticos de produção foram implementados conforme planejamento, o que é particularmente importante para remessas de exportação. O tempo de espera na plataforma de chegada foi reduzido em 50%, resultando em menor perda de peso e baixa mortalidade, o que torna o uso mais lucrativo do frango fazendo com que a SADIA leve vantagem a curto prazo nas oportunidades de mercado.

Em 2004, a SADIA juntamente com a UNISOMA ampliou o desenvolvimento e implementação do sistema de Planejamento Integrado de Produção de Ração (PIPRA) sobre os próximos três anos. Este sistema estende a idéia da formulação ótima de ração sobre um

horizonte de planejamento de longo período de tempo, cercando a compra de ingredientes. O sistema habilitará a SADIA economizar entre US\$ 10 milhões e US\$ 30 milhões em um ano, de acordo com simulações executadas com um ano de horizonte de planejamento e preço de flutuação sazonal dos ingredientes.

3.3 Metaheurísticas

3.3.1 Introdução

Metaheurísticas são procedimentos destinados a encontrar uma boa solução, eventualmente a ótima, consistindo na aplicação, em cada passo, de uma heurística subordinada, a qual tem que ser modelada para cada problema específico. A principal característica das metaheurísticas é a capacidade que estas possuem de escapar de ótimos locais (MARTINHON, 2000).

Neste contexto, pode-se destacar algumas metaheurísticas, como: GRASP, Busca Tabu, VNS⁴ e VND⁵. Estes dois últimos são métodos de busca local, que foram propostos por HANSEN e MLADENOVIC (1997).

3.3.2 GRASP

Introdução

O problema de roteamento e programação de veículos, pertence a uma classe de problemas denominados **Problemas de Otimização Combinatória**. Um problema de otimização combinatória, segundo AIEX (2004), pode ser definido por um conjunto base $E = \{1, \dots, n\}$, um conjunto de soluções viáveis $S \subseteq 2^{|E|}$ e uma função objetivo $f : 2^{|E|} \rightarrow \mathbb{R}$. Em um problema de minimização, procura-se uma solução $s^* \in S$ tal que $f(s^*) \leq f(s)$, $\forall s \in S$.

⁴Do inglês *Variable Neighborhood Search* (Método de Pesquisa em Vizinhança Variável).

⁵Do inglês *Variable Neighborhood Descent* (Método de Descida em Vizinhança Variável).

O conjunto base E , a função de custo f , e o conjunto de soluções viáveis S são definidos para cada problema específico.

A metaheurística GRASP (FEO e RESENDE, 1989, 1995), pode ser vista como um processo iterativo caracterizado por partidas múltiplas⁶, onde cada iteração consiste de duas fases:

- Na primeira fase, chamada **fase de construção**, uma solução inicial s é gerada, elemento a elemento;
- Na segunda fase, denominada **fase de busca local**, um ótimo local na vizinhança, $Viz(s)$, da solução construída é pesquisado.

A melhor solução encontrada é retornada como resultado.

FESTA e RESENDE (2002) fornecem uma extensa literatura sobre a metaheurística GRASP.

Um pseudo-código do GRASP é dado na Figura 3.1. A linha 1 do pseudo-código corresponde aos **dados de entrada** do problema. As **iterações** GRASP têm lugar nas linhas 2 a 6, e terminam quando o número máximo ocorre ou quando a solução procurada encontrada é satisfeita. Na linha 3 tem-se a **fase de construção** e na linha 4 a **fase de busca local**. Se uma melhoria na solução for encontrada, a **atualização** ocorre na linha 5. E por último, na linha 7, **a melhor solução é retornada** como resultado.

O número máximo de iterações é o critério de parada utilizado na maioria dos problemas. Porém, podem ser definidos outros critérios, como por exemplo, se a solução procurada encontrada for satisfeita ou até mesmo determinar um tempo máximo de execução do algoritmo.

⁶Cada iteração do GRASP é iniciada por uma solução diferente e percorre o caminho a partir dela.

```

Procedimento GRASP();
1   DadosEntrada();
2   Enquanto critério de parada não for satisfeito, faça:
3       ConstSolInicGulosaAleatória(s);
4       BuscaLocal(s,Viz(s));
5       AtualizSol(s,melhorSolEnc);
6   FimEnquanto;
7   Retorna(melhorSolEnc);
Fim GRASP;

```

Figura 3.1: UM PSEUDO-CÓDIGO GENÉRICO DO GRASP

A seguir tem-se a descrição das fases **construtiva** e de **busca local**.

Fase Construtiva

Nesta fase, uma solução viável é construída iterativamente, inserindo-se na solução parcial um elemento de cada vez. A cada iteração da fase construtiva, são avaliados somente elementos que podem ser adicionados à solução sem violar as restrições de viabilidade; esses elementos são chamados de **elementos candidatos**. O próximo elemento a ser adicionado à solução é determinado ordenando-se todos os elementos candidatos em uma lista chamada de **lista de candidatos (C)**. Esta ordenação é feita mediante a avaliação de cada elemento conforme uma função gulosa $g : C \rightarrow \mathbb{R}$. Esta função mede o benefício (míope) associado à seleção de cada elemento. A heurística é dita **adaptativa** porque os benefícios associados a cada elemento são atualizados a cada iteração da fase construtiva, para incorporar as mudanças provocadas pela escolha do último elemento. A componente **probabilística** é caracterizada pela escolha aleatória de um dos melhores candidatos da lista **C**, mas não necessariamente o melhor. Então, é formada uma lista que contém os melhores candidatos, a qual recebe o nome de **Lista Restrita de Candidatos (LRC)**. Esta fase construtiva se assemelha à heurística semi-gulosa proposta por HART e SHOGAN (1987), a qual resume-se em uma estratégia de partidas

múltiplas fundamentada em construções gulosas randomizadas, no entanto sem utilizar-se de uma busca local.

Na Figura 3.2 encontra-se um pseudo-código da **fase construtiva** do GRASP. A solução s a ser construída é inicializada na linha 1 do pseudo-código. O *loop* da linha 2 até a 7 é repetido até que a solução inicial viável seja construída. Na linha 3, dá-se a construção da **Lista Restrita de Candidatos (LRC)**. Um candidato c da lista restrita é selecionado, aleatoriamente na linha 4, e adicionado à solução na linha 5. O benefício que o elemento c causa ao ser adicionado na solução é levado em consideração na linha 6, onde a função gulosa é adaptada.

Procedimento ConstSolInicGulosaAleatória(s); 1 $s \leftarrow \{ \}$; 2 Enquanto solução não estiver completa, faça : 3 ConsLRC(LRC); 4 $c \leftarrow \text{SelecAleatElem}(\text{LRC})$; 5 $s \leftarrow s \cup \{c\}$; 6 FuncAdapGul(c); 7 FimEnquanto ; Fim ConstSolInicGulosaAleatória;

Figura 3.2: PSEUDO-CÓDIGO DA FASE DE CONSTRUÇÃO DO GRASP

Fase de Busca Local

A solução inicial s gerada pela fase construtiva não tem garantia de ser localmente ótima. Portanto, após a construção da solução inicial s , faz-se uma busca na **estrutura de vizinhança** ($Viz(s)$) relativa à essa solução. Esse procedimento realiza sucessivas trocas da solução corrente, sempre que uma melhor solução é encontrada na $Viz(s)$. O procedimento termina quando nenhuma solução melhor é encontrada.

Na Figura 3.3, encontra-se um pseudo-código da **fase de busca local** do GRASP.

Os procedimentos de 1 a 4 são repetidos enquanto o critério de parada não for satisfeito, que é um número máximo de iterações, ou quando a solução corrente não for localmente ótima. Na linha 2 verifica se existe uma solução v pertencente a vizinhança de s que melhora a solução corrente. Caso exista uma solução melhor, a solução corrente s é substituída pela solução v , na linha 3. E finalizando o procedimento, tem-se na linha 5 o retorno da solução s localmente ótima.

Procedimento BuscaLocal($s, Viz(s)$); 1 Enquanto <i>solução não é localmente ótima, faça:</i> 2 Encontrar uma melhor solução $v \in Viz(s)$; 3 $s \leftarrow v$; 4 FimEnquanto ; 5 Retorna(s como localmente ótima); Fim BuscaLocal;

Figura 3.3: PSEUDO-CÓDIGO DA FASE DE BUSCA LOCAL DO GRASP

Seja o conjunto S , conjunto das soluções viáveis, um procedimento de busca local parte sempre de uma solução inicial $s^0 \in S$ e gera uma sequência de soluções s^1, s^2, \dots, s^k . Dada uma solução $s \in S$, os elementos da sua vizinhança $Viz(s)$ são soluções que podem ser obtidas através da aplicação de uma modificação elementar em s , chamada de **movimento**. Utiliza-se neste trabalho a notação de **movimentos de trocas-(p, q)**, o qual indica que para uma dada solução s , a sua vizinhança $Viz(s)$ será gerada removendo p elementos de s e inserindo-se q novos elementos em s . Para ilustrar este tipo de movimento, seja $s = (3\ 1\ 4\ 2)$ e considere os **movimentos de trocas-(2,2)**, a vizinhança gerada por este movimento é dada por $Viz(s) = \{(1\ 3\ 4\ 2), (4\ 1\ 3\ 2), (2\ 1\ 4\ 3), (3\ 4\ 1\ 2), (3\ 2\ 4\ 1), (3\ 1\ 2\ 4)\}$. Para um problema de minimização, em geral, a vizinhança $Viz(s^k)$ de s^k é analisada durante a k -ésima iteração e tenta-se encontrar uma solução $s^{k+1} \in Viz(s^k)$, tal que $f(s^{k+1}) < f(s^k)$. Sempre que uma solução que melhora a solução corrente é encontrada, ela passa ser a nova solução corrente

e então, é feita uma análise de sua vizinhança; caso contrário, a busca termina e a solução corrente é retornada como um ótimo local. Para que a fase de busca local se torne eficiente, alguns fatores devem de ser cuidadosamente analisados, como: a solução inicial s^0 , a estrutura de vizinhança $Viz(s)$ além da função que deve ser otimizada.

Como a idéia principal da metaheurística GRASP baseia-se na utilização de diferentes soluções iniciais s^0 como ponto de partida para a busca local (AIEX, 2004), diz-se que uma solução inicial s^0 pertence à **bacia de atração** de um **ótimo local**, quando iniciando-se uma busca local em s^0 , consegue-se, teoricamente, atingir um ótimo local. Porém, se a solução inicial s^0 , pertencer a **bacia de atração** de um **ótimo global**, então, no término da fase de busca local, a solução encontrada será um ótimo global ou próxima.

Para que uma solução inicial pertencente a bacia de atração de um ótimo global seja eventualmente produzida, faz-se necessário um número grande de soluções geradas aleatoriamente, para se iniciar a busca local. No entanto, soluções que são produzidas de forma aleatória, implicam de forma geral, em soluções de baixa qualidade. Além do que, o número de movimentos necessários para que soluções geradas aleatoriamente (e que pertençam a bacia de atração de um ótimo global) atinjam o ótimo será muito elevado ou até mesmo exponencial dependendo do tamanho do problema (JOHNSON *et al*, 1988). Porém, o uso de algoritmos gulosos leva a soluções de melhor qualidade comparadas com as soluções geradas aleatoriamente. O uso de soluções iniciais gulosas para a busca local, em geral, levará a boas soluções, contudo, soluções de qualidade inferior à qualidade dos ótimos globais. Isto devido a pequena diversidade das soluções geradas pelos algoritmos gulosos. Como garantia de diversidade de soluções e ao mesmo tempo, controle na qualidade das soluções produzidas, a metaheurística GRASP usa um algoritmo semiguloso, para produzir as soluções iniciais usadas em cada iteração, (FEO e RESENDE, 1989); e HART e SHOGAN, (1987)).

A Lista Retrita de Candidatos - LRC

Duas estratégias básicas são em geral utilizadas na construção de uma **LRC**. Uma baseada em **cardinalidade** e a outra em **valores**. Na estratégia de **cardinalidade**, dado um valor inteiro k pré-estabelecido, coloca-se na **LRC** os k melhores elementos da lista **C** de candidatos. Na abordagem por **valores**, trata-se de um esquema baseado no **valor** associado a cada elemento $c \in C$. Sejam $\bar{g} = \max\{g(c) \mid c \in C\}$, $\underline{g} = \min\{g(c) \mid c \in C\}$ e um parâmetro $\alpha \in [0, 1]$.

Em um problema de minimização, uma LRC baseada em valores será determinada por $LRC = \{c \in C \mid g(c) \leq \underline{g} + \alpha(\bar{g} - \underline{g})\}$. No caso $\alpha = 0$, o algoritmo semiguloso corresponde ao algoritmo guloso puro, enquanto que para $\alpha = 1$ são construídas soluções aleatórias. Analogamente, em um esquema baseado em cardinalidade, no caso de $k = 1$ tem-se um comportamento guloso do algoritmo e para $k = |C|$ as soluções são construídas aleatoriamente. Assim, os parâmetros α e k determinam se a fase construtiva da metaheurística GRASP terá um algoritmo com um comportamento guloso ou aleatório.

Em PITSOULIS e RESENDE (2002), verifica-se que na maioria das implementações utilizando do GRASP, a construção da LRC se dá por meio de uma avaliação dos elementos por uma função gulosa. Nas primeiras implementações do GRASP se fixava um valor para α experimentalmente, em que se tinha diferentes valores para α conforme o problema ou mesmo a classe de problemas. Conforme se verifica em MOCKUS *et al.* (1997), para a fase construtiva do GRASP com um valor fixo de $\alpha < 1$, o mesmo pode nunca gerar uma solução na bacia de atração de um ótimo global. Para escapar desse problema RESENDE *et al.* (2000), sugeriram valores de α pertencentes ao intervalo $[0, 1]$, para cada iteração do algoritmo.

Funções Usadas para Seleção de Elementos

Durante a fase de construção de um algoritmo GRASP básico, o próximo elemento a ser inserido na solução é selecionado aleatoriamente entre os elementos candidatos na LRC. Cada elemento da LRC possui a mesma probabilidade de ser selecionado. BRESINA (1996) propõe uma abordagem para a construção da LRC, onde a cada elemento da lista de candidatos é atribuída uma probabilidade de seleção. Primeiramente, o valor da função gulosa $g(c)$ de cada elemento $c \in C$ é calculado e os elementos são ordenados de acordo com esse valor. Seja $rank(c)$ a posição do elemento c , após a ordenação dos elementos de C . A cada elemento c da lista ordenada é associado um valor dado por uma função $bias(rank(c))$. A probabilidade de seleção de um elemento c da lista de candidatos é então, determinada por:

$$p(c) = \frac{bias(rank(c))}{\sum_{j=1}^{|C|} bias(rank(c))}$$

Várias funções podem ser usadas para a seleção de elementos:

1. **Logarítmica:** $bias(rank(c)) = 1/\log(rank(c)) + 1$, para $c \in LRC$;
2. **Linear:** $bias(rank(c)) = 1/rank(c)$, para $c \in LRC$;
3. **Polinomial em n :** $bias(rank(c))/rank(c)^n$, para $c \in LRC$;
4. **Exponencial:** $bias(rank(c)) = 1/e^{rank(c)}$, para $c \in LRC$;
5. **Aleatória:** $bias(rank(c)) = 1$, para $c \in LRC$.

BINATO *et al.* (2001) usa uma abordagem semelhante, onde a atribuição de probabilidades é limitada aos elementos da LRC. Para o algoritmo do GRASP básico a escolha dos elementos é feita usando uma função aleatória na fase construtiva.

Algumas técnicas alternativas, podem ser utilizadas para a melhoria da fase construtiva, tais como:

1. **GRASP Reativo** é um procedimento proposto por PRAIS e RIBEIRO (2000), onde o parâmetro α é ajustado durante a execução do algoritmo;
2. **Memória e aprendizado**, FLEURENT e GLOVER (1999) sugerem o uso de uma memória de longo prazo, para modificar as probabilidades na escolha dos elementos na fase construtiva de métodos de partidas múltiplas;
3. **Princípio da Proximidade da Otimalidade (POP)**⁷, proposto por GLOVER e LAGUNA (1997) para a busca Tabu, segundo este princípio, “soluções boas em um nível possivelmente estarão ‘próximas’ a soluções boas em um nível adjacente”, FLEURENT e GLOVER (1999), fizeram uma adaptação desse conceito para utilizar na metaheurística GRASP objetivando reduzir imperfeições que possam ter sido incorporadas à solução.

Algoritmos Híbridos

Abordagens híbridas da metaheurística GRASP, possibilitam obter soluções com qualidade superior às obtidas pelo GRASP puro. Neste contexto, é feita a substituição da fase de busca local por outro algoritmo de busca. LAGUNA e GONZÁLEZ-VELARDE (1991) estudaram a hibridização do GRASP com um algoritmo de busca Tabu. DELMAIRE *et al.* (1999), também utilizaram o GRASP com a busca Tabu. Também pode-se verificar outras abordagens híbridas do GRASP, com a busca Tabu ou *Simulated Annealing* em COLOMÉ e SERRA (2001), ABDINNOUR-HELM e HADLEY (2000) e LIU *et al.* (2000). HANSEN e MLADENOVIC (1997, 2001), propõe o uso das estratégias VNS e VND, estas estratégias foram inicialmente utilizadas no GRASP por MARTINS *et al.* (2000). AHUJA *et al.* (2000) usa o GRASP juntamente com um algoritmo genético em problema de atribuição quadrática.

⁷Do inglês *Proximate Optimality Principle*.

Religamento de Caminhos

O uso de religamento de caminhos foi proposto inicialmente no contexto de busca Tabu por GLOVER e LAGUNA (1997). No algoritmo GRASP o religamento de caminhos tem como objetivo intensificar a busca em regiões onde soluções de qualidade tenham sido encontradas. Esta estratégia, ALEX *et al.* (2002) consiste em explorar trajetórias que conectam soluções de alta qualidade, começando de uma **solução inicial** e gerando um caminho na vizinhança dessa solução na direção de outra solução, chamada de **solução guia**. Esse caminho é gerado selecionando-se movimentos que introduzam atributos da solução guia na solução inicial. A cada passo, todos os movimentos que incorporam atributos da solução guia são analisados e o melhor movimento é escolhido. GLOVER *et al.* (2000), fornece uma visão geral da estratégia de religamento de caminhos.

Técnica de Aceleração do Tempo Computacional do GRASP

Uma técnica usada para reduzir o tempo computacional durante a execução de um algoritmo GRASP é o uso de uma tabela *hash*, propostas por AHO *et al.* (1974) e CORMEN *et al.* (1990). Esta tabela é uma estrutura de dados usada para implementar dicionários (conjuntos dinâmicos com operações de inserção, remoção e consulta). MARTINS *et al.* (2000) usam a tabela *hash* na metaheurística GRASP para armazenar todas as soluções usadas como soluções iniciais pela busca local, onde após cada fase construtiva, faz-se uma consulta na tabela *hash* para verificar se a solução gerada é nova. Em caso afirmativo, a solução é inserida na tabela *hash* e o procedimento de busca local é iniciado a partir dessa solução. Em caso contrário, o procedimento de busca local não será executado e uma nova iteração é iniciada.

3.3.3 Algumas Aplicações da Metaheurística GRASP

FEO e RESENDE (1989), descrevem a utilização do GRASP para a resolução do **problema de cobertura** que aparece em computação. Verificando que o GRASP encontra rapidamente as melhores soluções conhecidas para todos os exemplos considerados. LAGUNA e GONZÁLEZ-VELARDE (1991), utiliza-se do GRASP no **planejamento e escalonamento de produção**. SMITH e FEO (1991), oferece o GRASP para colorir gráficos esparsos em **problemas de partição de grafos**. KLINCEWICZ (1992), compara a busca Tabu e o GRASP para resolução de exemplos do discreto **problema de localização p -centro**, um problema que tem aplicações em linhas aéreas e sistemas de entregas de pacotes, tão bem como em certos problemas de desenhos de redes de telecomunicações. RANGE *et al.* (2000), propõe uma modificação na heurística GRASP aplicada ao **Problema Quadrático de Alocação (PQA)**, desenvolvido por LI, PARDALOS e RESENDE (1994), com uma proposta para aceitar ou não a solução gerada na fase de construção evitando uma busca local que, eventualmente, exigiria muito esforço computacional. A proposta está baseada no cálculo dos custos normalizados em um intervalo de limites das soluções do PQA, o procedimento recebe o nome de GRASP restrito.

Capítulo 4

O MÉTODO HEURÍSTICO PROPOSTO

4.1 O GRASP Aplicado ao Problema de Espera

O GRASP, foi proposto por FEO e RESENDE (1995), trata-se de um método iterativo, o qual é constituído de duas fases:

1. Na primeira fase, chamada **fase construtiva**, uma solução inicial, *Sol_Ini*, é gerada, elemento a elemento;
2. Na segunda fase, denominada **fase de busca local**, um ótimo local na vizinhança da solução construída é pesquisado.

A melhor solução é retornada como resultado.

4.1.1 Simbologias e Nomenclaturas Utilizadas

Nesta subseção tem-se uma lista com a simbologia e a nomenclatura das variáveis, utilizadas durante o restante deste trabalho; a lista segue uma ordem alfabética.

O índice k , que aparece na maioria das variáveis, refere-se a ordem de abate da k -ésima carga.

1. c : c -ésimo caminhão, para $c = 1, \dots, 13$;
2. $(cam_c)_k$: Caminhão c referente ao carregamento da k -ésima carga para o abate;

3. car : Quantidade de carga referente ao abate;
4. car_k : k -ésima carga referente ao abate;
5. dis_k : Distância da Avícola até a granja referente ao abate da k -ésima carga;
6. e : e -ésima equipe de apanha, $e = 1, 2, 3, 4$;
7. $(eqa_e)_k$: Equipe de apanha e referente ao carregamento da k -ésima carga para abate;
8. g : g -ésima granja, para $g = 1, \dots, ng$;
9. $(grj_g)_k$: Granja g para o apanhe referente a k -ésima carga para o abate;
10. hca_k : Horário de chegada na Avícola referente ao abate da k -ésima carga;
11. hcg_k : Horário de chegada na granja referente ao abate da k -ésima carga;
12. hia_k : Horário de início referente ao abate da k -ésima carga;
13. hic_k : Horário de início do carregamento referente ao abate da k -ésima carga;
14. hsa_k : Horário de saída da Avícola/Garagem referente ao abate da k -ésima carga;
15. hsg_k : Horário de saída da granja referente ao abate da k -ésima carga;
16. hta_k : Horário de término referente ao abate da k -ésima carga;
17. htc_k : Horário de término do carregamento referente ao abate da k -ésima carga;
18. k : Contador da quantidade de cargas para o abate;
19. ng : Número de granjas para o apanhe, referente ao dia programado, $ng = 3, \dots, 12$;
20. pab_1 : Período de abate 1, $pab_1 = (hia_k < 09h00 \text{ e } hta_k \leq 09h00)$;
21. pab_2 : Período de abate 2, $pab_2 = (hia_k < 11h00 \text{ e } hta_k \leq 11h00)$;
22. pab_3 : Período de abate 3, $pab_3 = (hia_k < 13h20 \text{ e } hta_k \leq 13h20)$;
23. pab_4 : Período de abate 4, $pab_4 = (hia_k < 18h00 \text{ e } hta_k \leq 18h00)$;
24. pab_5 : Período de abate 5, $pab_5 = (hia_k < 19h00 \text{ e } hta_k \leq 19h00)$;
25. pab_6 : Período de abate 6, $pab_6 = (hia_k \geq 19h00 \text{ e } hta_k > 19h00)$;
26. qac_k : Quantidade de aves para abate da k -ésima carga;
27. qag_g : Quantidade de aves da granja g ;
28. taa : Total de aves para abate;

29. tab_k : Tempo referente ao abate da k -ésima carga;

30. tac_k : Total de aves transportada por um caminhão referente ao abate da k -ésima carga

$$tac_k = qag_k;$$

31. tcg_k : Tempo de carregamento referente a k -ésima carga para o abate;

32. tec_k : Tempo de espera carregado na Avícola, referente ao abate da k -ésima carga;

33. tvc_k : Tempo de viagem carregado, da granja até a Avícola, referente ao abate da k -ésima carga;

34. tvv_k : Tempo de viagem vazio da Avícola/Garagem até a granja, referente ao abate da k -ésima carga;

35. vab_p : Velocidade de abate, em aves/min, referente ao período p , de abate, para $p = 1, \dots, 6$;

36. vcg : Velocidade de carregamento (68 aves/min);

4.1.2 Cálculo do Tempo de Viagem Vazio (TVV) e do Tempo de Viagem Carregado (TVC)

Os dados utilizados para as simulações¹, as quais foram executadas para se verificar o desempenho do programa, são referentes ao mês de out de 2004. Para o cálculo do tvv e do tvc , procedeu-se da maneira descrita abaixo, onde se calculou primeiro o tvc .

1. Tomou-se os horários de terminos dos carregamentos², de cada caminhão nas respectivas granjas;
2. Tomou-se os horários de chegada³, de cada caminhão na Avícola;
3. Subtraiu-se cada um dos valores encontrados no item 2, dos encontrados no item 1; para os respectivos caminhões, vindos das respectivas granjas;

¹As simulações são comentadas no Capítulo 5.

²Campo 15 das Tabelas 4.2 pág. (62); 4.3 pág. (63) e 4.4 pág. (63).

³Campo 10 da Tabela 4.5 pág. (64).

4. Feito isso, obteve-se a média aritmética do *tvc* para cada granja;
5. Para o cálculo do *tvv*, após pesquisa feita com os motoristas, verificou-se que esse valor correspondia a aproximadamente 80% do valor do *tvc*, de cada granja, valor este adotado para os cálculos;
6. Para finalizar, construiu-se uma tabela, contendo a relação de todas as granjas atendidas, para o abate, pela Avícola, referente ao mês de outubro de 2004, a qual encontra-se no Apêndice A⁴.

Para exemplificar o cálculo do *tvc* para uma determinada granja, seja, então, a granja do Rogério⁵.

1. Primeiramente, calcula-se a diferença entre os horários de chegada⁶, na Avícola, e os respectivos horários de saída⁷, da granja, de cada caminhão;
2. Em seguida, calcula-se a média aritmética dos valores obtidos no item anterior.

Na Tabela 4.1, campo 9, têm-se o valor do *tvc* referente a granja do granjeiro Rogério, o qual é de 1h47 ou 107min; então o *tvv*, para essa granja, o qual corresponde a 80% do *tvc*, é de 1h26 ou 86min.

4.1.3 Função Objetivo

O **Problema de Espera** pode ser denominado de problema de roteamento de veículos com janela de tempo (PRVJT); como já foi mencionado no Capítulo 3. Este problema pode ser formulado, segundo BRAMEL e SIMCHI-LEVI (1997), como: um conjunto de clientes

⁴Em out. de 2004, foram abatidas 2.009.821 aves, provenientes de 134 granjas e, realizadas 700 viagens para o transporte dessas aves. Esses dados, foram utilizados na construção da tabela que se encontra no Apêndice A.

⁵Ver Tabela 4.1.

⁶Campo (8) da Tabela 4.1.

⁷Campo (7) da Tabela 4.1.

Tabela 4.1: CÁLCULO DO TVC DA GRANJA DO ROGÉRIO DE SÃO TOMÉ

Granjeiro (1)	Cidade (2)	Dis (3)	Eqa (4)	Cam (5)	Aves (6)	Saída (7)	Chegada (8)	tvcc ^a (9)
Rogério Brambilla	S. Tomé	95,0	J	ACO	2.816	23:54	1:45	1:51
Rogério Brambilla	S. Tomé	95,0	J	KDO	3.456	0:50	2:30	1:40
Rogério Brambilla	S. Tomé	95,0	J	AEY	3.456	1:48	3:40	1:52
Rogério Brambilla	S. Tomé	95,0	J	BWP	3.456	3:00	4:36	1:36
Rogério Brambilla	S. Tomé	95,0	J	JTP	3.456	4:13	5:48	1:35
Rogério Brambilla	S. Tomé	95,0	J	HQG	2.400	4:48	6:53	2:05
Rogério Brambilla	S. Tomé	95,0	J	AEA	2.144	5:28	7:20	1:52
							tvc: ^b	1:47

FONTE: Trevizoli e Cia Ltda, Avícola Felipe

^aTempo de viagem carregado de cada carga.

^bMédia do tvcc.

dispersos em uma região geográfica que devem ser atendidos por uma frota de veículos inicialmente localizados em um depósito. Para o **Problema de Espera** os clientes, seriam as granjas, a frota de veículos, os caminhões que fazem o transporte das aves, e o depósito, a Avícola. Cada granja (cliente) tem uma quantidade de aves (produtos) que deve ser transportada (atendida) e é especificado um período de tempo, chamado **janela de tempo**, no qual o transporte deve acontecer. Para o problema em questão, a janela de tempo, seria a soma dos valores das seguintes variáveis: *tvv*, *tvc* e *tec*. O volume total transportado em cada veículo, ou seja a quantidade de aves, não pode superar sua capacidade de carga.

Em RONEN (1988) e ARCE (1997), comentados no Capítulo 3; entende-se por programação (*scheduling*), o planejamento do tempo em que ocorrerão cada um dos eventos da rota de um determinado veículo, e por roteamento ou roteirização (*routing*), o planejamento da rota que será utilizada pelo veículo. O **roteamento** e a **programação** são denominados de **Despacho**. Dessa forma, para o **Problema de Espera**, a **programação**, consiste em determinar os seguintes horários: *hsa*, *hic*, *htc*, *hca*, *hia* e *hta* para cada caminhão, e o **roteamento** implica em determinar as granjas que cada caminhão deverá atender.

Para o **Problema de Espera**, a **função objetivo** consiste em **minimizar W**, dada pela Equação 4.1 a seguir, a qual é definida pelo valor absoluto da diferença entre o tempo de 25min⁸ e o quociente entre o somatório do produto da quantidade de aves transportada em cada carga (qac_k) pelo tempo de espera carregado (tec_k), e o somatório da quantidade de aves abatidas (qac_k). Quanto mais próximo de zero estiver W , melhor será o tec .

$$Min W = abs \left(\frac{\sum_{i=1}^k (qac_i \cdot tec_i)}{\sum_{i=1}^k qac_i} - 25 \right) \quad (4.1)$$

Tabela 4.2: RELATÓRIO DAS ATIVIDADES DA EQUIPE DE APANHA A, REFERENTE AO DIA 04/10/2004

Programação do dia: 04/10/04 (1)			Segunda-feira (2)			Equipe: A (3)		
Saída: 08:00h (4)	Chegada: 21:30 (5)		Intervalo: 09:30h às 10:46h (6)			Amanhã: 07:30h (7)		
Granjeiros (8)	Cidade (9)	Placa (10)	Início (11)	A. cx. (12)	Placa (13)	Início (14)	Término (15)	Aves (16)
Lourival Aparecido	S.C.M.C.	HQG	09:30	8	HQG	09:47	10:23	2.560
Lourival Aparecido	S.C.M.C.	AEA	10:10	8	AEA	10:23	11:10	2.560
Lourival Aparecido	S.C.M.C.	BXB	10:50	8	BXB	11:10	12:05	3.456
Lourival Aparecido	S.C.M.C.	KOL	11:30	8	KOL	12:14	13:05	3.267
Rubens Negrão	S.C.M.C.	ACO	13:30	6	ACO	14:00	14:40	2.112
Rubens Negrão	S.C.M.C.	KDO	14:10	6	KDO	14:40	15:25	2.592
Rubens Negrão	S.C.M.C.	JTP	14:50	7	JTP	15:40	16:35	3.024
Rubens Negrão	S.C.M.C.	BWP	15:30	7	BWP	16:35	17:30	3.024
Rubens Negrão	S.C.M.C.	HQG	16:15	7	HQG	17:50	18:35	2.240
Rubens Negrão	S.C.M.C.	GQQ	16:55	7	GQQ	18:35	19:10	2.464
Rubens Negrão	S.C.M.C.	AEA	17:35	7	AEA	19:20	19:58	2.128
(17) Aves:		29.427 aves						
(18) Média:		50,54 minutos						
(19) H. T:		12:14 horas						
(20) Observação:								

FONTE: Trevizoli e Cia Ltda

⁸Este valor é considerado pela Avícola, como sendo o tempo ideal para que as aves esperem para serem abatidas.

Tabela 4.3: RELATÓRIO DAS ATIVIDADES DA EQUIPE DE APANHA J, REFERENTE AO DIA 04/10/2004

Programação do dia: 04/10/04 (1)			Segunda-feira (2)			Equipe: J (3)		
Saída: 21:50h (4)	Chegada: 10:30 (5)		Intervalo: (6)			Amanhã: 21:00h (7)		
Granjeiros (8)	Cidade (9)	Placa (10)	Início (11)	A. cx. (12)	Placa (13)	Início (14)	Término (15)	Aves (16)
Rogério Brambila I/II/III	São Tomé	ACO	23:00	8	HQG	23:00	23:54	2.816
Rogério Brambila I/II/III	São Tomé	KDO	23:40	8	KDO	23:54	00:50	3.456
Rogério Brambila I/II/III	São Tomé	AEY	00:30	8	AEY	00:50	01:48	3.456
Rogério Brambila I/II/III	São Tomé	BWP	01:20	8	BWP	01:48	03:00	3.456
Rogério Brambila I/II/III	São Tomé	JTP	02:10	8	JTP	03:00	04:13	3.456
Rogério Brambila I/II/III	São Tomé	HQG	03:00	8	HQG	04:13	04:48	2.400
Rogério Brambila I/II/III	São Tomé	AEA	03:40	8	AEA	04:48	05:28	2.144
Mário Yoneyama I	São Carlos	KOL	05:30	8	KOL	06:20	07:13	3.456
Mário Yoneyama I	São Carlos	ACJ	06:20	8	ACJ	07:13	08:06	3.160
Mário Yoneyama I	São Carlos	KDO	07:10	8	KDO	08:06	09:06	3.456
Mário Yoneyama I	São Carlos	BWP	08:00	8	BWP	09:06	09:57	3.027
(17) Aves:		34.283 aves						
(18) Média:		54,27 minutos						
(19) H. T:		12:40 horas						
(20) Observação:								

FONTE: Trevizoli e Cia Ltda

Tabela 4.4: RELATÓRIO DAS ATIVIDADES DA EQUIPE DE APANHA V, REFERENTE AO DIA 04/10/2004

RENTE AO DIA 04/10/2004

Programação do dia: 04/10/04 (1)			Segunda-feira (2)			Equipe: V (3)		
Saída: 04:22h (4)	Chegada: 13:26 (5)		Intervalo: 10:00h às 11:58 (6)			Amanhã: 21:00h (7)		
Granjeiros (8)	Cidade (9)	Placa (10)	Início (11)	A. cx. (12)	Placa (13)	Início (14)	Término (15)	Aves (16)
Hércules Cestaro I/II	Guairaça	BXB	05:00	8	BXB	05:25	06:20	3.456
Hércules Cestaro I/II	Guairaça	GQQ	05:45	8	GQQ	06:20	06:50	2.816
Hércules Cestaro I/II	Guairaça	ACO	06:30	8	ACO	06:50	07:56	2.816
Hércules Cestaro I/II	Guairaça	AEY	07:10	8	AEY	07:56	08:44	3.456
Hércules Cestaro I/II	Guairaça	JTP	07:55	8	JTP	08:44	09:10	2.026
Carlos R. Negri	S.C.M.C.	GQQ	10:40	7	GQQ	10:35	11:05	2.464
Carlos R. Negri	S.C.M.C.	ACJ	11:20	7	ACJ	11:20	12:07	3.024
Carlos R. Negri	S.C.M.C.	AEY	12:20	7	AEY	12:26	12:52	1.917
(17) Aves:		21.975 aves						
(18) Média:		45,25 minutos						
(19) H. T:		07:10 horas						
(20) Observação:								

FONTE: Trevizoli e Cia Ltda

Tabela 4.5: DEMONSTRATIVO DE ABATE DIÁRIO POR INTEGRADO DA AVÍCOLA FELIPE REFERENTE A 04/10/2004

(1) 04/10/04		Placa	Quant. aves	Peso Líqu.	Peso Méd.	Morta- lidade	% de Mortal.	Hor. Cheg.	Hor. Abate	Tempo Espera
Carga (2)	Integrado (3)									
1	Rogério Brambila	ACO	2.816	6.500	2,308	3	0,11	01:45	05:00	3:15
2	Rogério Brambila	KDO	3.456	7.940	2,297	1	0,03	02:30	05:22	2:52
3	Rogério Brambila	AEY	3.456	8.060	2,332	1	0,03	03:40	05:51	2:11
4	Rogério Brambila	BWP	3.456	7.790	2,254	2	0,06	04:36	06:19	1:43
5	Rogério Brambila	JTP	3.456	7.680	2,222	1	0,03	05:48	06:47	0:59
6	Rogério Brambila	HQG	2.400	5.330	2,221	0	0,00	06:53	07:15	0:22
7	Rogério Brambila	AEA	2.144	4.550	2,122	1	0,03	07:20	07:35	0:15
8	Hércules Cestaro	BXB	3.456	8.790	2,543	2	0,06	07:22	07:54	0:32
9	Hércules Cestaro	GQQ	2.816	7.200	2,557	1	0,03	07:48	08:20	0:32
10	Mário Yoneyama	KOL	3.456	8.580	2,483	2	0,06	08:24	08:46	0:22
11	Mário Yoneyama	ACJ	3.160	7.970	2,522	0	0,00	09:05	09:34	0:29
12	Hércules Cestaro	ACO	2.816	7.070	2,511	8	0,28	09:03	10:26	1:23
13	Hércules Cestaro	AEY	3.456	8.850	2,561	3	0,11	09:49	11:06	1:17
14	Mário Yoneyama	KDO	3.456	8.730	2,526	3	0,11	10:10	11:34	1:24
15	Hércules Cestaro	JTP	2.026	5.040	2,488	4	0,20	10:16	12:02	1:46
16	Mário Yoneyama	BWP	3.027	7.390	2,441	3	0,11	10:50	12:19	1:29
17	Carlos Roberto	GQQ	2.464	5.840	2,370	11	0,45	11:49	12:44	0:55
18	Lourival Aparecido	HQG	2.560	6.320	2,469	1	0,03	12:38	13:02	0:24
19	Carlos Roberto	ACJ	3.024	7.140	2,361	1	0,03	12:53	13:44	0:51
20	Lourival Aparecido	AEA	2.560	6.370	2,488	3	0,11	13:41	14:20	0:39
21	Carlos Roberto	AEY	1.917	4.490	2,342	1	0,03	13:34	14:50	1:16
22	Lourival Aparecido	BXB	3.456	8.640	2,500	2	0,06	14:40	15:13	0:33
23	Lourival Aparecido	KOL	3.267	8.170	2,501	0	0,00	15:30	15:55	0:25
24	Rubens Negrão	ACO	2.112	4.620	2,188	3	0,11	16:46	16:55	0:09
25	Rubens Negrão	KDO	2.592	5.790	2,234	0	0,00	17:27	18:27	1:00
26	Rubens Negrão	JTP	3.024	6.530	2,159	1	0,03	18:28	18:57	0:29
27	Rubens Negrão	BWP	3.024	6.620	2,189	0	0,00	19:29	19:36	0:07
28	Rubens Negrão	HQG	2.240	4.930	2,201	2	0,06	20:22	20:32	0:10
29	Rubens Negrão	GQQ	2.464	5.400	2,192	0	0,00	21:07	21:16	0:09
30	Rubens Negrão	AEA	2.128	4.660	2,190	0	0,00	22:04	22:12	0:08
TOTAL			85.685	202.990	2,369	60	0,07			

FONTE: Avícola Felipe S. A.

4.1.4 Fase Construtiva - Geração de uma Solução Inicial

Para o **Problema de Espera**, uma solução inicial viável, Sol_Ini , deve satisfazer as seguintes restrições de viabilidade:

1. Um caminhão, cam_k , só pode ser despachado⁹ para uma s -ésima carga, car_s , se o mesmo já tenha terminado sua r -ésima carga, car_r ; isto é, se $hsa_s > hta_r$, com $s > r$;
2. Um caminhão, cam_k , poderá transportar, no máximo, até 10% mais de sua capacidade;
3. Uma equipe de apanha, eqa_e , não poderá atender mais de uma granja ao mesmo tempo;
4. Quando uma equipe terminar o apanhe na granja r e for iniciar o apanhe na granja s , o tempo de deslocamento não deve ser inferior a 40min, tempo este, considerado necessário para o deslocamento entre as granjas, com $s > r$;
5. Um motorista não poderá trabalhar mais de 12 horas consecutivas;
6. Um caminhão não poderá começar o carregamento em uma granja g , antes que um outro caminhão já tenha terminado de carregar;
7. Um caminhão não poderá chegar no abatedouro, após o horário previsto para o início do abate de sua carga;
8. O tempo mínimo de espera para o abate não deverá ser inferior a 5min;
9. O tempo máximo de espera para o abate não deverá ser superior a 60min (esta restrição é aplicada somente na solução final) .

Tanto a **Solução Inicial**, Sol_Ini ; quanto a **Solução Final**, Sol_Fin , serão triplas ordenadas do tipo:

$$Sol_Fin = \{(cam_c, grj_g, eqa_e)_k\},$$

com $k = 1, \dots, car$; $c = 1, \dots, 13$; $g = 1, \dots, ng$; $ng = 3, \dots, 12$; $e = 1, \dots, 4$.

⁹Consiste em determinar a granja de apanha e o horário de início do carregamento.

Algoritmo da Fase Construtiva

1. Início da Fase Construtiva(Sol_Ini);

2. Dados de Entrada:

- (a) Número de granjas ng , para apanhe;
- (b) Granjas grj_g , com $g = 1, \dots, ng$;
- (c) Quantidade de aves para o abate, qag_g , disponível em cada granja g , com $g = 1, \dots, ng$;
- (d) Distância, dis_g , em km , da Avícola até cada granja g , com $g = 1, \dots, ng$;
- (e) Tempo de viagem vazio tvv_g , em min , da Avícola até cada granja g , com $g = 1, \dots, ng$;
- (f) Tempo de viagem carregado tvc_g , em min , da granja g até a Avícola, com $g = 1, \dots, ng$;
- (g) Velocidade de carregamento, vcg , sendo $vcg = 68 \text{ aves}/min$;
- (h) Previsão da quantidade de carga, car , para abate;
- (i) Períodos pab_p , de abate, com $p = 1, \dots, 6$;
 - Se $p = 1 \rightarrow pab_1$ e $vab_1 = 122 \text{ aves}/min$;
 - Se $p = 2 \rightarrow pab_2$ e $vab_2 = 61 \text{ aves}/min$;
 - Se $p = 3 \rightarrow pab_3$ e $vab_3 = 122 \text{ aves}/min$;
 - Se $p = 4 \rightarrow pab_4$ e $vab_4 = 80 \text{ aves}/min$;
 - Se $p = 5 \rightarrow pab_5$ e $vab_5 = 40 \text{ aves}/min$;
 - Se $p = 6 \rightarrow pab_6$ e $vab_6 = 80 \text{ aves}/min$;
- (j) $hia = 5h00$ (Horário de início do abate da 1ª carga);

3. Designe¹⁰ uma equipe de apanha eqa_e , $e = 1, 2, 3, 4$; para a granja grj_g , com $g = 1, \dots, ng$;

¹⁰Esta designação será feita, manualmente, pelo programador, devido a distribuição geográfica das granjas.

4. Const_Sol_Ini (Sol_Ini), 1ª carga

Faça:

- (a) $Sol_Ini \leftarrow \{ \}$;
- (b) $k = 1$;
- (c) $hia_k = hia$;
- (d) grj_1 ;
- (e) eqa_1 ;
- (f) Designe um caminhão cam_c , para a granja grj_1 , com $c = 1, \dots, 13$;
- (g) $cam_k = cam_c$;
- (h) Determine: qac_k ;

Atualize:

- qag_g ;
- $taa = taa - qac_k$;

- 5. $tec_k = 60$;
- 6. $hca_k = hia_k - tec_k$;
- 7. $hsg_k = hca_k - tvc_g$;
- 8. $htc_k = hsg_k$;
- 9. $tcg_k = qac_k / vcg$;
- 10. $hic_k = htc_k - tcg_k$;
- 11. $hcg_k = hic_k$;
- 12. $hsa_k = hcg_k - tvv_g$;
- 13. $tab_k = qac_k / vab_1$;
- 14. $hta_k = hia_k - tab_k$;
- 15. $qaa_k = qaa_k - qac_k$;
- 16. $qag_g = qag_g - qac_k$;
- 17. $hia_{k+1} = hta_k$;

Atualize:

- $Sol_Ini \leftarrow Sol_Ini \cup \{(grj_1, eqa_1, cam_1)\}$;

18. $k = k + 1$;

19. **Enquanto** $taa > 0$, faça: (da 2ª carga em diante)

(a) Para $k = 2, \dots, car$, faça:

- Determine uma grj_g , para o abate da k -ésima carga, com $g = 1, \dots, ng$;
- $grj_k = grj_g$;
- Determine a equipe de apanha eqa_e , da granja g referente a k -ésima carga,

com $g = 1, \dots, ng$ e $e = 1, \dots, 4$;

iv. $eqa_k = eqa_e$;

v. Designe um caminho cam_c , da LRC para a granja grj_g , com $c = 1, \dots, 13$, e $g = 1, \dots, ng$;

vi. $cam_k = cam_c$

vii. Determine: qac_k ;

viii. $vcc = 0$;

ix. Para $t = (k - 1), \dots, 1$

A. $tec(k) = (hia(k) - (htc(t) + tcg(k) + tvc(k)))$

- $vcc = 1$;

B. Se $(k - t) > 1$ $tec(k) > 25$

- $tec(k) = 25$. PARE.

C. Se $tec(k) < 5$, faça:

- solução inviável. FIM.

D. Caso contrário, se $grj(k) \neq grj(t)$

Se $grj(k) = g$ e é a 1ª viagem para a granja g , faça:

- $tec(k) = 25$; PARE.

E. FIM do Para do t do item (ix).

x. Se $vcc = 0$, faça:

A. Para $t = (k - 1), \dots, 1$

- Se $grj(k) \neq grj(t)$ e $eqa(k) = eqa(t)$

- $tec(k) = hia(k) - (htc(t) + tcg(k) + tvc(k) + 40)$. PARE.

– Se $tec(k) \geq 5$

* Caso contrário se $tec(k) > 25$, faça:

$$tec(k) = 25. \text{ PARE.}$$

– Se $tec(k) < 5$, faça:

* solução inviável. FIM,

- FIM do *Para* do t do item (A).

B. FIM do *Se* do $vcc = 0$ do item (x).

$$\text{xi. } hca_k = hia_k - tec_k;$$

$$\text{xii. } hsg_k = hca_k - tvc_g;$$

$$\text{xiii. } htc_k = hsg_k;$$

$$\text{xiv. } tcg_k = qac_k / vcg;$$

$$\text{xv. } hic_k = htc_k - tcg_k;$$

$$\text{xvi. } hcg_k = hic_k;$$

$$\text{xvii. } hsa_k = hcg_k - tvv_g;$$

$$\text{xviii. } tab_k = qac_k / vab_1;$$

$$\text{xix. } hta_k = hia_k - tab_k;$$

$$\text{xx. } qaa_k = qaa_k - qac_k;$$

$$\text{xxi. } qag_g = qag_g - qac_k;$$

$$\text{xxii. } hia_{k+1} = hta_k;$$

$$\text{xxiii. } Sol_Ini \leftarrow Sol_Ini \cup \{(grj_k, eqa_k, cam_k)\};$$

$$\text{xxiv. } W = abs \left(\frac{\sum_{i=1}^k (qac_i \cdot tec_i)}{\sum_{i=1}^k qac_i} - 25 \right);$$

$$\text{xxv. } k = k + 1;$$

- **Atualize:** qaa_k ;

– Se $taa > 0$, faça:

* $k = k + 1$;

– Se $taa = 0$, faça:

* $car = k$; FIM.

(b) FIM do **Enquanto** do taa ;

20. Retorne (**Sol_Ini**) e **W**.

21. FIM da **Fase Construtiva**.

4.1.5 Lista Restrita de Candidados - LRC

A LRC será baseada no critério de cardinalidade e será formada com base no número de caminhões, ou seja $|LRC| = 13$.

Após a designação das equipes às granjas, é feita uma ordenação, em ordem não crescente relativa ao tvc de cada granja e:

1. A quantidade de aves é dividida em dois grupos, onde cada grupo deverá ter mais ou menos a metade da quantidade de aves disponíveis para o abate; os grupos serão formados como segue:
 - (a) O 1º grupo para as equipes 1 e 2 e;
 - (b) O 2º grupo para as equipes 3 e 4.
2. As granjas que fazem parte do 1º grupo serão ordenadas alternadamente, por equipe, em ordem não crescente do tvc das granjas;
3. O mesmo procedimento, é adotado para as granjas do grupo 2;
4. Após o abate das 13 primeiras cargas, é feita uma nova LRC com base na disponibilidade dos caminhões, e então é feita uma nova ordenação.

4.1.6 Fase de Busca Local - Solução Final

Após a geração da **Solução Inicial**, Sol_Ini , pela **fase construtiva** do GRASP, é realizada a **fase de busca local**, onde é feita uma pesquisa na vizinhança da Sol_Ini , com a finalidade de melhorar a solução, caso essa melhoria seja encontrada, a **solução corrente** é retornada como resultado.

Algoritmo da Fase de Busca Local

O algoritmo da fase de busca local, é semelhante ao da fase construtiva, com a diferença de que o mesmo parte da Sol_Ini e, efetua vários movimentos de trocas, na ordem das cargas, até que se satisfaça um critério de parada, como um número máximo de iterações, ou encontre a solução ótima para o problema.

Na Figura 4.1 tem-se um pseudo código do algoritmo de busca local para o **Problema de Espera**.

Procedimento BuscaLocal($Sol_Ini, Viz(Sol_Ini), Max_Iter$); 1 Para $iter = 0, \dots, Max_Iter$, faça : 2 Enquanto <i>critério de parada não for satisfeito</i> , faça : 3 Encontrar uma melhor solução $v \in Viz(Sol_Ini)$; 4 $Sol \leftarrow v$; 5 $iter \leftarrow iter + 1$; 6 FimEnquanto ; 7 FimPara ; 8 Retorna(Sol como localmente ótima); Fim BuscaLocal.

Figura 4.1: PSEUDO-CÓDIGO DA FASE DE BUSCA LOCAL PARA O PROBLEMA DE ESPERA

Vizinhança da Solução Inicial para o Problema de Espera

Dada uma **Solução Inicial**, Sol_Ini , portanto, uma **Vizinhança da Solução Inicial**, $Viz(Sol_Ini)$, é gerada através de um movimento de troca entre duas cargas, de maneira que

não se viole nenhuma das restrições de viabilidade.

Seja então, uma solução inicial genérica, Sol_Ini , tal que:

- $Sol_Ini = \{(cam_c, grj_g, eqa_e)\}$, com $c = 1, \dots, 13$; $g = 1, \dots, ng$; $e = 1, \dots, 4$.

Por exemplo, dada a Sol_Ini , abaixo:

- $Sol_Ini = \{(1, 1, 1), (2, 1, 1), (10, 2, 2), (6, 1, 3), (9, 2, 3), \dots, (13, 3, 4)\}$.

Uma $Viz(Sol_Ini)$, pode ser encontrada, pela troca entre dois de seus elementos, por exemplo, troca-se o terceiro elemento, $(10, 2, 2)$, com o quarto, $(6, 1, 3)$. Portanto, a nova solução será:

- $Sol_Ini = \{(1, 1, 1), (2, 1, 1), (6, 1, 3), (10, 2, 2), (9, 2, 3), \dots, (13, 3, 4)\}$.

Após a troca entre os dois elementos de uma solução inicial, calcula-se o valor da função objetivo e, compara este valor com o valor anterior, caso a nova solução, apresente um valor melhor para a função objetivo, ela é mantida e sua vizinhança passa a ser analisada; o procedimento se repete até que o valor ótimo seja alcançado ou se atinja um número máximo de iterações determinado. Então, a melhor solução é retornada como **Solução Final**.

4.2 Implementação Computacional

O programa foi desenvolvido no software *MatLab* Versão 6.0.0.88 Release 12 de 22/09/2000. O programa contou com mais de 6.000 linhas de programação e, para a sua execução utilizou-se um Micro Computador com processador Amd XP de 2.2 GHz, com 256 MB de Memória RAM e HD de 40 GB.

Capítulo 5

AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS

Para verificar o desempenho do programa, foram executadas 30 simulações, das quais três simulações para cada quantidade de granja. As quantidades de granjas variaram, de três até doze; sendo que cada equipe atendia, no máximo três granjas.

Em todas as simulações, o algoritmo encontrou a solução ótima, ou satisfatória.

A média de tempo de processamento, foi de 0,4s para a **fase construtiva** e de 1,1s para a **fase de busca local**.

O programa fornece como relatório final, uma tabela de **Programação Diária dos Motoristas**. Para análise e comentários dos resultados obtidos pode-se observar na Tabela 5.1, a programação gerada pelo método heurístico proposto, para uma segunda-feira. Neste dia foram abatidas 85.685 aves, sendo um total de 29 cargas. Na tabela observa-se 15 colunas, cujos significados são descritos a seguir:

1. *car*: Ordem que cada caminhão deve descarregar;
2. *grj*: Granja onde deve ser feito o carregamento;
3. *eqa*: Equipe de apanha que realizará o carregamento;
4. *cam*: Caminhão que deverá carregar;
5. *qac*: Quantidade de aves que deverá ser carregada;
6. *dis*: Distância, em km, da Avícola até a granja;

7. *hsa*: Horário previsto para saída da Avícola;
8. *hic*: Horário que deve iniciar o carregamento;
9. *htc*: Horário de término do carregamento;
10. *tcg*: Tempo de carregamento, em minutos;
11. *hca*: Horário que deve chegar na Avícola;
12. *tec*: Tempo de espera carregado, em minutos;
13. *hia*: Horário que deve iniciar o abate;
14. *tab*: Tempo de abate, em minutos;
15. *hta*: Horário de término do abate.

A **Função Objetivo** apresentou um valor de 0,4min, se comparado com a programação manual, que foi de 39,2min¹, houve uma redução muito significativa.

Observa-se na Tabela 5.1 que o maior *tec* foi de 60min e, ocorreu na 1ª carga, no horário das 4 horas, horário este em que a temperatura não prejudica as aves; o menor *tec* foi de 5min e, foi verificado na 7ª carga.

Pode-se verificar, os horários que cada equipe de apanha, devem iniciar e terminar o carregamento das aves, horários estes também, em que as equipes iniciarão e terminarão suas atividades; tem-se, ainda o tempo total de horas trabalhadas e os intervalos de folga.

Por exemplo, a equipe 1, deverá carregar a sua 1ª carga às 00h56; para isso deverá sair para viagem pelo menos até às 22h59 do dia anterior; e esta equipe terminará de carregar a última carga às 10h13 (que corresponde a 17ª carga de abate), porém, esta equipe estará livre a partir das 12h12. Tendo trabalhado neste dia, 13h13. Observa-se que esta equipe teve um intervalo de folga de 1 hora, intervalo este que ocorreu entre às 07h04 e 08h04, podendo verificar isso, através do *htc* da 11ª carga e o *hic* da 13ª carga, na Tabela 5.1, sendo a equipe que mais trabalhou neste dia.

¹Conforme dados da Tabela 4.5 que se encontra na página 64.

Na Tabela 5.1, pode-se verificar também, os horários de início e término de carregamento de cada caminhão, bem como os horários de folgas, entre uma carga e outra, com isso pode ser feito um controle das horas trabalhadas por cada caminhão e motorista.

Tabela 5.1: SOLUÇÃO GERADA PELO GRASP PARA UMA SEGUNDA-FEIRA 04/10/2004

car	grj	eqa	cam	qac	dis	hsa	hic	htc	tcg	hca	tec	hia	tab	hta
1 ^a	1	1	10	2560	87	22:59	00:56	01:34	38	04:00	60	05:00	21	05:21
2 ^a	1	1	11	2371	87	23:37	01:34	02:09	35	04:35	46	05:21	19	05:40
3 ^a	1	1	1	3456	87	00:12	02:09	03:00	51	05:26	14	05:40	28	06:08
4 ^a	2	2	12	2560	95	01:52	03:18	03:56	38	05:43	25	06:08	21	06:29
5 ^a	1	1	2	3456	87	01:03	03:00	03:51	51	06:17	12	06:29	28	06:57
6 ^a	2	2	3	3478	95	02:30	03:56	04:47	51	06:34	23	06:57	29	07:26
7 ^a	3	1	4	3456	91	02:57	04:31	05:22	51	07:21	5	07:26	28	07:54
8 ^a	2	2	5	3478	95	03:25	04:51	05:42	51	07:29	25	07:54	29	08:23
9 ^a	3	1	6	3456	91	03:48	05:22	06:13	51	08:12	11	08:23	28	08:51
10 ^a	2	2	8	2816	95	04:32	05:58	06:39	41	08:26	25	08:51	37	09:28
11 ^a	3	1	7	3456	91	04:39	06:13	07:04	51	09:03	25	09:28	57	10:25
12 ^a	2	2	9	2816	95	06:06	07:32	08:13	41	10:00	25	10:25	46	11:06
13 ^a	3	1	13	2560	91	06:30	08:04	08:42	38	10:41	25	11:06	21	11:27
14 ^a	2	2	1	3476	95	06:58	08:24	09:15	51	11:02	25	11:27	28	11:55
15 ^a	3	1	10	2560	91	07:19	08:53	09:31	38	11:30	25	11:55	21	12:16
16 ^a	2	2	11	2560	95	08:00	09:26	10:04	38	11:51	25	12:16	21	12:37
17 ^a	3	1	12	2096	91	08:08	09:42	10:13	31	12:12	25	12:37	17	12:54
18 ^a	4	3	2	3456	37	09:45	10:35	11:26	51	12:29	45	12:54	28	13:44
19 ^a	4	3	3	3456	37	10:36	11:26	12:17	51	13:20	24	13:44	43	14:27
20 ^a	4	3	4	3456	37	11:27	12:17	13:08	51	14:11	16	14:27	43	15:10
21 ^a	5	4	5	3456	46	12:04	12:53	13:44	51	14:45	25	15:10	43	15:53
22 ^a	4	3	8	2816	37	12:54	13:44	14:25	41	15:28	25	15:53	35	16:28
23 ^a	5	4	6	3456	46	13:22	14:11	15:02	51	16:03	25	16:28	43	17:11
24 ^a	4	3	13	1386	37	14:33	15:23	15:43	20	16:46	25	17:11	17	17:28
25 ^a	5	4	7	3456	46	14:22	15:11	16:02	51	17:03	25	17:28	43	18:22
26 ^a	6	3	1	3456	34	15:48	16:23	17:14	51	17:58	24	18:22	86	19:48
27 ^a	5	4	9	2731	46	16:53	17:42	18:22	40	19:23	25	19:48	68	20:28
28 ^a	6	3	10	2560	34	18:06	18:41	19:19	38	20:03	25	20:28	32	21:00
29 ^a	6	3	11	1389	34	18:56	19:31	19:51	20	20:35	25	21:00	17	21:17

Para a análise do total de horas trabalhadas pelos caminhões, considere os seguintes caminhões: 8, 1 e 10; o primeiro realizou 2 viagens, e os dois últimos, 3 viagens cada um. Em seguida construiu-se a Tabela 5.2, com base na Tabela 5.1.

Tabela 5.2: QUANTIDADES DE VIAGENS, HORAS TRABALHADAS E INTERVALOS DE FOLGAS DOS CAMINHÕES 1, 8 E 10

cam	1ª Viagem		2ª Viagem		3ª Viagem		Horas Envolvidas	Horas Trabalhadas	Horas de Intervalo
	hsa	hta	hsa	hta	hsa	hta			
1	00:12	06:08	06:58	11:55	15:48	19:48	19:36	14:53	04:43
8	04:32	09:28	12:54	16:28	–	–	11:56	08:30	03:26
10	22:59	05:21	07:19	12:16	18:06	21:00	22:01	14:13	07:48

Pode-se verificar na Tabela 5.2 que o caminhão 1 teve envolvido 19h36; o caminhão 10, 22h01; o caminhão 8, 11h56. Descontando os intervalos entre as cargas, verifica-se que o caminhão 1 trabalhou 14h53; o caminhão 8, 08h30 e o caminhão 10, 14h13.

Na Tabela 5.1, na coluna **cam**, que refere-se aos caminhões, pode-se verificar que a numeração vai do 1 ao 13. Os caminhões numerados do 1 ao 7, referem-se aos caminhões do tipo I; os caminhões do 8 ao 9 são caminhões do tipo II, e os caminhões numerados do 10 ao 13 são do tipo III.

Capítulo 6

CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

6.1 Conclusões

Com a implementação computacional do método pode-se concluir que todos os agentes envolvidos no processo poderão ter ganhos, como por exemplo:

1. Com a diminuição no tempo de espera para o abate, a Avícola e os produtores integrados ganharão, pois haverá uma diminuição da perda de peso e consequente redução da taxa de mortalidade;
2. Haverá por parte dos produtores, melhor controle no horário de corte das rações das aves, já que a alimentação das aves deve ser cortada 7 horas antes do abate das mesmas;
3. Melhoria no controle da frota por parte da empresa de transporte, pois, a mesma saberá os horários e os locais onde deverão estar cada caminhão, além de ter o controle das equipes de apanha, com relação aos horários de saídas, chegadas e intervalos;
4. As equipes de apanha poderão controlar melhor suas atividades;
5. Os motoristas poderão controlar melhor suas viagens, pois saberão com antecedência os locais e os horários onde deverão estar.

Para as equipes de apanha, houve uma redução no total de horas trabalhadas nas simulações consideradas.

Analisando estes resultados, verifica-se que a empresa de transporte deverá contratar, mais quatro motoristas, para satisfazer a restrição do número de horas trabalhadas por cada motorista.

Foram realizadas algumas simulações com três equipes, porém, em todas elas, o número de horas que cada equipe estaria envolvida, passava de 15 horas diária, por isso, adotou-se trabalhar com quatro equipes, já que a Avícola tem intenção de aumentar o seu abate diário.

Pode-se perceber que o GRASP funciona bem, e é possível ser implementado.

6.2 Sugestões para Trabalhos Futuros

Como sugestões para trabalhos futuros, são propostos:

1. Programação para as equipes de apanha, de forma que minimize o tempo de deslocamento até as granjas;
2. Implementação do programa, para que permita baldeações de cargas entre granjas que possuam um mesmo itinerário, fazendo com que se aproveite a capacidade máxima dos caminhões e, diminua o número de viagens;
3. Sincronia com o trabalho desenvolvido por LIMA¹ (2004);
4. Desenvolver um modelo matemático para o problema;
5. Aprofundar o estudo do GRASP aplicando-o a outros tipos de problemas.

¹Este trabalho já foi comentado no Capítulo 3 na Subseção 3.2.1.

Referências Bibliográficas

- [1] ABDINNOUR-HELM, S.; HADLEY, S. Tabu search based heuristics for multi-floor facility layout. **International Journal of Production Research**, v. 38, p. 365-383, 2000.
- [2] AHO, A. et al. **The design and analysis of computer algorithms**, Addison-Wesley, 1974.
- [3] AHUJA, R. et al. A greedy genetic algorithm for the quadratic assignment problem. **Computers and Operations Research**, v. 27, p. 917-934, 2000.
- [4] AIEX, R. M. et al. Probability distribution of solution time in GRASP: An experimental investigation. **Journal of Heuristics**, v. 8, p. 343-373, 2002.
- [5] AIEX, R. M. **Uma investigação experimental da distribuição de probabilidade do tempo de solução em heurísticas GRASP e sua aplicação na análise de implementações paralelas**. Rio de Janeiro, 2004. 243 f. Tese (Doutorado em Ciências - Informática), Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.
- [6] ARCE, JULIO EDUARDO. **Um sistema de programação do transporte principal de multiprodutos florestais visando a minimização de custos**. Curitiba, 1997. 98 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

- [7] AVICULTURA INDUSTRIAL. **As exportações brasileiras em março**. Disponível em: http://www.aviculturaindustrial.com.br/site/dinamica.asp?id=12423&tipo_tabela=negocios&categoria=exportacao. Acesso em: 15 mai 2005a.
- [8] AVICULTURA INDUSTRIAL. **Embarques de frango crescem 20% até março**. Disponível em: http://www.aviculturaindustrial.com.br/site/dinamica.asp?id=12625&tipo_tabela=negocios&categoria=exportacao. Acesso em: 18 mai 2005b.
- [9] AVICULTURA INDUSTRIAL. **Estudos da Embrapa - Situação atual e tendências para a avicultura de corte nos próximos anos**. Disponível em: <http://www.aviculturaindustrial.com.br>. Acesso em: 18 mai 2005c.
- [10] AVICULTURA INDUSTRIAL. **Produção mundial de carnes segundo a FAO**. Disponível em: http://www.aviculturaindustrial.com.br/site/imprimir.asp?id=12597&tipo_tabela=negocios&categoria=estatisticas. Acesso em: 21 mai 2005d.
- [11] AVISITE. **Consumo da carne de frango: situação atual e perspectivas para 2005**. Disponível em: <http://www.avisite.com.br/noticias/imprimir.asp?CodNoticia=5175>. Acesso em: 21 mai 2005.
- [12] BINATO, S. et al. A greedy randomized adaptive search procedure for job shop scheduling. In: Hansen, P.; Ribeiro, C., editors, **ESSAYS AND SURVEYS IN METAHEURISTICS**, Kluwer Academic Publishers, p. 58-79, 2001.
- [13] BRAMEL, J.; SIMCHI-LEVI, D. On the effectiveness of set covering formulations for the vehicle routing problem with time windows. **Operations Research**, v. 45, n. 2, p. 295-301, 1997.

- [14] BRESINA, J. Heuristic-biased stochastic sampling. In: PROCEEDINGS OF THE THIRTEENTH NATIONAL CONFERENCE ON ARTIFICIAL INTELLIGENCE (AAAI-96), **American Association for Artificial Intelligence**, p. 271-278, 1996.
- [15] COLOMÉ, R.; SERRA, D. Consumer choice in competitive location models: Formulations and heuristics. **Papers in Regional Science**, v. 80, p. 439-464, 2001.
- [16] CORMEN, T. et al. **Introduction to algorithms**, The MIT Press, 1990.
- [17] DELMAIRE, H. et al. Reactive GRASP and Tabu Search based heuristics for single source capacitated plant location problem. **INFOR**, v. 37, p. 194-225, 1999.
- [18] FEO, T. A.; RESENDE, M. G. C. A probabilistic heuristic for a computationally difficult set covering problem. **Operations Research Letters**, v. 8, p. 67-71, 1989.
- [19] FEO, T. A.; RESENDE, M. G. C. Greedy randomized adaptive search procedures. **Journal of Global Optimization**, v. 6, p. 109-133, 1995.
- [20] FESTA, P.; RESENDE, M. G. C. GRASP: An annotated bibliography. In: Ribeiro, C.; Hansen, P., editors, ESSAYS AND SURVEYS IN METAHEURISTICS, **Kluwer Academic Publishers**, p. 325-367. 2002.
- [21] FLEURENT, C.; GLOVER, F. Improved constructive multistart strategies for the quadratic assignment problem using adaptive memory. **INFORMS Journal on Computing**, v. 11, p. 198-204, 1999.
- [22] FISHER, M. L., et al. Vehicle routing with time windows two optimization algorithms. **Operations Research**, v. 45, n. 3, p. 488-492, 1997.
- [23] GLOVER, F.; LAGUNA, M. Tabu search. **Kluwer Academic Publishers**, 1997.

- [24] GLOVER, F. et al. **Fundamentals of scatter search and path relinking**. Technical report, Graduate School of Business and Administration, University of Colorado, Boulder, CO 80309-0419, 2000.
- [25] HANSELMAN, D.; LITTLEFIELD, B. **MATLAB6: Curso completo**. Tradução: Cláudia Sant'Ana Martins; revisão técnica: Alberto Saa; Francisco A. M. Gomes e M. Aparecida Diniz Ehrhardt. São Paulo: Prentice Hall, 2003.
- [26] HANSEN, P.; MLADENOVIC, N. Variable neighborhood search. **Computers and Operations Research**, v. 24, p. 1097-1100, 1997.
- [27] HANSEN, P.; MLADENOVIC, N. Developments of variable neighborhood search. In: Ribeiro, C.; Hansen, P., editors, **ESSAYS AND SURVEY IN METAHEURISTICS**, **Kluwer Academic Publishers**, p. 415-439, 2001.
- [28] HART, J.; SHOGAN, A. et al. Semi-greedy heuristics: An empirical study. **Operations Research Letters**, v. 6, p. 107-114. 1987.
- [29] JOHNSON, D.; PAPADIMITRIOU, C.; YANNAKAKIS, M. How easy is local search? **Journal of Computer and System Sciens**, v. 17, p. 79-100, 1988.
- [30] KIM, JUNG-UG; KIM, YEONG-DAE. A decomposition approach to a multi-period vehicle scheduling problem. **Omega, Int. J. Mgmt. Sci**, v. 27, p. 421-430, 1999.
- [31] KLINCEWICZ, J. G. Avoiding local optima in the p -hub location problem using tabu search and GRASP. **Annals of Operations Research**, v. 40, p. 283-302, 1992.

- [32] KOHL, N.; MADSEN, O. B. G. An optimization algorithm for the vehicle routing problem with time windows based on Lagrangian relaxation. **Operations Research**, v. 45, p. 395-406, 1997.
- [33] LAGUNA, M.; GONZÁLEZ-VELARDE, J. A search heuristic for just-in-time scheduling in parallel machines. **Journal of Intelligent Manufacturing**, v. 2, p. 253-260, 1991.
- [34] LI, Y.; PARDALOS, P. M.; RESENDE, M. G. C. A greedy randomized adaptive search procedures for the quadratic assignment problem. **DIMACS Series in Discrete Mathematics and Theoretical Computer Science**, v. 16, p. 237-261, 1994.
- [35] LIMA, DANIEL de. **A programação matemática no planejamento de produção na relação avícola/aviário: alojamento e desalojamento de aves**. Curitiba, 2004. 118 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Setores de Tecnologia e Ciências Exatas, Universidade Federal do Paraná.
- [36] LIU, X. et al. A GRASP for frequency assignment mobile radio networks. In: Rajasekaran, S.; Pardalos, P.; Hsu, F., editors, **MOBILE NETWORKS AND COMPUTING**, v. 52 of DIMACS Series on Discrete Mathematics and Theoretical Computer Science, **American Mathematical Society**, p. 195-201, 2000.
- [37] MARTINHON et al. **An hybrid GRASP + VNS metaheuristic for the prize-collecting traveling salesman problem**. Work Paper. Instituto de Computação, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2000.
- [38] MARTINS, S. et al. A parallel GRASP for the Steiner tree problem in graphs using a hybrid local search strategy. **Journal of Global Optimization**, v. 17, p. 267-283, 2000.

- [39] MOCKUS, J. et al. Bayesian discrete and global optimization. **Kluwer Academic Publishers**, 1997.
- [40] OLIVO, N. **Delícias das carnes brancas**. 3. ed. Criciúma: Ed. do autor, 2004.
- [41] PITSOULIS, L. S.; RESENDE, M. G. C. Greedy randomized adaptive search procedures. In: Pardalos, P.; Resende, M., editors, **HANDBOOK OF APPLIED OPTIMIZATION**. **Oxford University Press**, 2002. Aceito para publicação.
- [42] PRAIS, M.; RIBEIRO, C. Reactive GRASP: An application to a matrix decomposition problem in TDMA traffic assignment, **INFORMS Journal on Computing**, v. 12, p. 164-176, 2000.
- [43] RANGE, M. C. et al. GRASP para o PQA: um limite de aceitação para soluções iniciais. **Pesquisa Operacional**, Rio de Janeiro, v. 20, n. 1, p. 1-17, junho 2000.
- [44] RESENDE, M. G. C., et al. Fortran subroutines for computing approximate solutions of MAX-SAT problems using GRASP. **Discrete Applied Mathematics**, v. 100, p. 95-113, 2000.
- [45] RONEN, D. Perspectives on practical aspects of trucks routing and scheduling. **European Journal of Operational Research**, v. 35, p. 137-135, 1988.
- [46] SCHEITT, LUIZ CARLOS. **Otimização da indústria e comercialização da carne de frango**. Curitiba, 2003. 110 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Setores de Tecnologia e Ciências Exatas, Universidade Federal do Paraná.

- [47] SMITH, S. H.; FEO, T. A. A GRASP for coloring sparse graphs. Technical report, **Operations Research Group**. Department of Mechanical Engineering. The University of Texas at Austin, Austin, TX 78712-163, January, 1991.
- [48] SOLOMON, M. M.; DESROSIERS, J. Time window constrained routing and scheduling problems. **Trans. Sci.**, v. 22, p. 1-13, 1988.
- [49] TAUBE-NETTO, MIGUEL. Integrated planning for poultry production at sadia. **Interfaces**, v. 26, n. 1, p. 38-53, 1996.
- [50] UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ. Sistema de Bibliotecas. **Normas para apresentação de trabalhos**. Curitiba: Ed. da UFPR, 2002.
- [51] WEINTRAUB, A., BARAHONA, F.; EPSTEIN, R. A column generation algorithm for solving general forest planning problems with adjacency constraints. **For. Sci.**, v. 40, n. 1, p. 142-161, 1994.
- [52] WEINTRAUB, A., et al. A truck scheduling system improves efficiency in the forest industries. **Interfaces**, v. 26, n. 4, p. 1-12, 1996.

Apêndice A

RELAÇÃO DE INTEGRADOS DA AVÍCOLA FELIPE S. A. ATENDIDOS NO MÊS DE OUT 2004

Nº	Integrado (Granjeiro)	Cidade	dis	tvv	tvc	tvv	qaa
1	Sidnei Edson Matheus	S. C. M. C	108,0	2:09	2:41	4:50	7.500
2	Alison R. de Alvarenga	Itaúna do Sul	92,0	2:02	2:32	4:34	11.000
3	Alcides Vizini	S. Pedro do PR	96,5	2:01	2:31	4:32	15.000
4	Osmar de Andrade Gois II	Porto Rico	103,0	2:00	2:30	4:30	24.000
5	Lourival Ap. Pegoraro	S. C. M. C	87,0	1:57	2:26	4:23	16.500
6	José Alves da Silva	Dr. Camargo	108,0	1:54	2:23	4:17	9.000
7	Marcos A. Rocha	Dr. Camargo	104,0	1:54	2:22	4:16	11.000
8	Claudionor M. Bastos	S. C. M. C.	100,0	1:54	2:22	4:16	15.000
9	Clodovil José Guernandi	S. Pedro do PR	100,0	1:54	2:22	4:16	11.000
10	Umberto Zancanaro	S. C. M. C	96,0	1:52	2:20	4:12	7.500
11	Antonio B. P. de Lima I/II	Itaúna do Sul	92,0	1:52	2:20	4:12	23.000
12	Djair Fonzar	S. C. M. C.	107,0	1:51	2:19	4:10	11.500
13	Wanderley Fonzar	S. C. M. C.	106,0	1:51	2:19	4:10	9.000
14	Orlando José Tavares	Lobato	100,0	1:51	2:19	4:10	9.000
15	Reinaldo Lavagnoli	Ângulo	82,0	1:51	2:19	4:10	28.500
16	Carlos Roberto Rossato	S. C. M. C.	109,0	1:50	2:18	4:08	7.500
17	José Luiz Rossato	S. C. M. C.	106,0	1:50	2:18	4:08	7.500
18	Antonio Garcia Navarro	Itaúna do Sul	92,0	1:50	2:17	4:07	11.000
19	José O. dos Santos I/II	Santa Mônica	82,0	1:49	2:16	4:05	40.500
20	Antonio Fer. I/II/III	Dr. Camargo	105,0	1:48	2:15	4:03	52.000
21	Wellington F. Azevedo	Dr. Camargo	102,0	1:47	2:14	4:01	22.500
22	Antonio Luiz B. Silva	Dr. Camargo	104,0	1:46	2:13	3:59	22.000
23	Ângelo José Vizini	Porto Rico	98,0	1:44	2:10	3:54	15.000
24	Wilson Roberto Matera	Dr. Camargo	101,0	1:42	2:07	3:49	17.000
25	Miguel Mansano Filho	S. Jorge do Ivaí	96,0	1:42	2:08	3:50	10.000

continua

continuação

Nº	Integrado (Granjeiro)	Cidade	dis	tvv	tvc	tvv	qaa
26	Euzébio Marini	S. Pedro do PR	95,5	1:42	2:07	3:49	11.000
27	Gumercindo P. de Melo	S. C. M. C.	90,0	1:42	2:07	3:49	7.500
28	Darcy Peruzzo	Santa Mônica	78,0	1:42	2:08	3:50	15.000
29	Ismael A. Domingues	S. C. M. C.	90,0	1:41	2:06	3:47	11.000
30	Arildo Martins	S. Jorge do Ivaí	96,0	1:40	2:05	3:45	14.000
31	Pedro Bolognes	Dr. Camargo	108,0	1:39	2:04	3:43	11.000
32	Luiz A. Castanheira	S. Jorge do Ivaí	93,0	1:39	2:04	3:43	9.000
33	Abel Mansano	S. Jorge do Ivaí	98,0	1:38	2:03	3:41	24.000
34	Rubens P. Negrão	S. C. M. C	91,0	1:34	1:58	3:32	18.000
35	Northon P. Paganela	Santa Mônica	70,0	1:34	1:58	3:32	7.500
36	Juverci G. Gonçalves	Lobato	100,0	1:32	1:55	3:27	7.000
37	Leonir Anacleto da Silva	S. C. M. C	86,0	1:32	1:55	3:27	7.500
38	Lázaro Borin	Cruzeiro do Sul	77,5	1:32	1:55	3:27	15.000
39	Bertolino Meurer II	Iguaraçu	101,0	1:30	1:52	3:22	22.000
40	Shozi Matuo	S. Manoel	98,0	1:30	1:52	3:22	13.000
41	Julio Rainer Uhdre	S. Jorge do Ivaí	95,0	1:30	1:52	3:22	11.500
42	Ernesto Malice	Lobato	93,5	1:30	1:53	3:23	7.500
43	José L. da Fonseca	Flórida	77,0	1:29	1:51	3:20	15.000
44	Rogério B. Reggiani	São Tomé	95,0	1:26	1:47	3:13	17.000
45	Amaury Gabriel I	S. Jorge do Ivaí	80,0	1:23	1:44	3:07	24.000
46	Valéria R. P. Nichele	São Tomé	96,0	1:22	1:43	3:05	39.000
47	João Nivaldo da Silva	Flórida	80,0	1:22	1:43	3:05	7.000
48	Vanilde G. de Almeida	S. Jorge do Ivaí	79,5	1:22	1:43	3:05	15.000
49	Francisca N. S. Molina	Cruzeiro do Sul	76,0	1:21	1:41	3:02	17.000
50	Roberto de S. Molina	Cruzeiro do Sul	76,0	1:21	1:41	3:02	7.000
51	Carlos R. G. Arenas	Mandaguaçu	66,0	1:21	1:41	3:02	15.000
52	Antonio Á. Martinez	Guaporema	73,0	1:19	1:39	2:58	28.000
53	José N. A. Minatelli	S. Jorge do Ivaí	80,0	1:18	1:37	2:55	12.500
54	Nivaldo F. da Silva	Santa Mônica	70,0	1:18	1:37	2:55	7.500
55	Sérgio L. A. Minatelli	S. Jorge do Ivaí	80,0	1:17	1:36	2:53	12.500
56	Clóvis Amaral	Loanda	76,0	1:17	1:36	2:53	22.500
57	José M. Correia Filho	Atalaia	68,5	1:14	1:32	2:46	7.000
58	Amaury Gabriel 2	S. Jorge do Ivaí	66,0	1:14	1:32	2:46	8.000
59	Walter Marion	Atalaia	68,0	1:13	1:31	2:44	7.500
60	Dirley D. Eugênio II	Loanda	65,0	1:13	1:31	2:44	15.000
61	Odair Ruffo	Atalaia	80,0	1:12	1:30	2:42	7.000
62	Francisco P. Nascimento	Alto Paraná	46,0	1:12	1:30	2:42	7.500
63	Edson Airton Ferri	Atalaia	56,5	1:11	1:29	2:40	7.500
64	Alber Antonio Rufo	Atalaia	83,0	1:10	1:27	2:37	15.000
65	José Martins	Presid. C. Branco	62,0	1:09	1:26	2:35	7.500

continua

continuação

Nº	Integrado (Granjeiro)	Cidade	dis	tvv	tvc	tv	qaa
66	Lourival Caponi	Nova Esperança	53,0	1:09	1:26	2:35	11.000
67	Kazuo Fukuyama	Alto Paraná	46,0	1:08	1:25	2:33	15.000
68	Livia E. Aquaroni 4	Nova Esperança	56,0	1:07	1:24	2:31	10.000
69	Orlando dos Santos	Presid. C. Branco	56,0	1:06	1:23	2:29	8.500
70	Valdemir A. Felipini	Paranavaí	37,0	1:05	1:21	2:26	11.500
71	Reinaldo de Oliveira	Guaporema	66,0	1:03	1:19	2:22	13.000
72	Moises Mioto	Rondon	83,0	1:02	1:17	2:19	14.000
73	Elias Martins	Presid. C. Branco	62,0	1:02	1:17	2:19	7.500
74	Elizabeth Martins	Presid. C. Branco	62,0	1:02	1:18	2:20	7.500
75	Abel Martins	Presid. C. Branco	62,0	1:02	1:18	2:20	7.500
76	Décimo Caetano	Nova Esperança	56,0	1:02	1:18	2:20	10.000
77	José Aurélio	Nova Esperança	43,5	1:02	1:17	2:19	10.000
78	Claudio A. Zolim I/II	Rondon	66,0	0:59	1:14	2:13	22.500
79	Itamar José Tronchini	Rondon	65,0	0:58	1:12	2:10	12.000
80	Tiago Trassi Alves	Atalaia	60,0	0:58	1:13	2:11	13.000
81	Jacson José dos Reis	Terra Rica	44,0	0:58	1:12	2:10	7.000
82	Augusto Pasquali	Alto Paraná	33,0	0:58	1:12	2:10	25.000
83	Valdioris Volpato I/II	Paranavaí	30,5	0:58	1:12	2:10	15.000
84	Mauro S. Aldrovandi	Rondon	90,0	0:57	1:11	2:08	13.000
85	Pedro Paganelli	Presid. C. Branco	53,0	0:57	1:11	2:08	11.000
86	Tânia C. Z. Rodrigues	Rondon	84,0	0:55	1:09	2:04	12.400
87	Vagner Pim Picorelli	Alto Paraná	42,0	0:55	1:09	2:04	10.000
88	Alcides P. da Silva	Nova Esperança	38,5	0:55	1:09	2:04	11.000
89	Valcir Coan	Alto Paraná	54,0	0:54	1:07	2:01	7.500
90	Rogério C. Zaninelo	Alto Paraná	41,0	0:54	1:08	2:02	22.500
91	Josoer Orélio	Alto Paraná	38,0	0:54	1:07	2:01	13.000
92	Cristino Martins	Presid. C. Branco	62,0	0:52	1:05	1:57	7.500
93	Nilton L. Bispo	Nova Esperança	46,5	0:51	1:04	1:55	7.500
94	Manoel Luiz Candiotto	Alto Paraná	29,5	0:51	1:04	1:55	12.000
95	Edicarlos A. Eustachio	Nova Esperança	47,5	0:50	1:03	1:53	7.500
96	Nélson Balestrini	Alto Paraná	42,0	0:50	1:02	1:52	11.500
97	Hercules E. Cestaro	Guairaça	37,0	0:50	1:03	1:53	15.000
98	Aristides M. Parra	Alto Paraná	37,0	0:50	1:02	1:52	7.000
99	Aparecido de Souza	Alto Paraná	36,0	0:50	1:03	1:53	14.000
100	Antônio Moreira	Paranavaí	27,0	0:50	1:03	1:53	7.000
101	Angelo A. Mazoni	São C. do Ivaí	52,0	0:49	1:01	1:50	19.000
102	Mario Yoneyama	São C. do Ivaí	46,0	0:49	1:01	1:50	14.000
103	José C. D. Escarmanhani	Guairaça	33,0	0:49	1:01	1:50	15.000
104	José Messias Orélio	Alto Paraná	38,0	0:46	0:58	1:44	5.500
105	Elizeu Moya	Alto Paraná	37,0	0:46	0:57	1:43	15.000

continua

continuação

Nº	Integrado (Granjeiro)	Cidade	dis	tvv	tvc	tvv	qaa
106	Neri Fogaça de Oliveira	Alto Paraná	42,0	0:44	0:55	1:39	11.500
107	Joel Orelho	Alto Paraná	38,0	0:44	0:55	1:39	28.000
108	Milton T. Asano	Alto Paraná	35,0	0:44	0:55	1:39	7.000
109	José C. R. Cervante	Guairaça	35,0	0:42	0:52	1:34	7.500
110	João A. Borges Filho	Guairaça	34,0	0:42	0:53	1:35	11.500
111	Alice Fugime Oku	Amaporã	33,5	0:42	0:53	1:35	16.000
112	Onelha Coan	Alto Paraná	33,0	0:42	0:53	1:35	7.700
113	Pedro dos Santos	Paranavaí	27,0	0:42	0:52	1:34	7.500
114	Renato Bertola	Alto Paraná	25,0	0:42	0:52	1:34	7.500
115	Célio R. André Ferro	Alto Paraná	30,0	0:39	0:49	1:28	10.000
116	Márcio Yuri Tanoue	Paranavaí	21,0	0:38	0:47	1:25	15.000
117	Luiz Carlos Picoli	Alto Paraná	28,0	0:37	0:46	1:23	10.000
118	Mauro Dias Lima	Paranavaí	18,0	0:37	0:46	1:23	24.000
119	Valdeci J. de Souza	Mirador	44,0	0:36	0:45	1:21	16.000
120	Ivani P. Santos	Guairaça	33,0	0:36	0:45	1:21	15.000
121	Mauro Dias Lima	Paranavaí	18,0	0:36	0:45	1:21	24.000
122	Carlos R. Negri	Guairaça	34,0	0:35	0:44	1:19	7.500
123	Sebastião A. G.	Paranavaí	20,0	0:35	0:44	1:19	15.000
124	Pedro Campezo	Paranavaí	35,0	0:34	0:43	1:17	22.500
125	Claudemir Santos	Paranavaí	23,0	0:34	0:43	1:17	22.500
126	José Cardoso Santos	Terra Rica	21,0	0:33	0:41	1:14	10.000
127	Júlio C. Felipe III	Paranavaí	16,5	0:31	0:39	1:10	22.000
128	Clodovino Chiqueti	Nova Aliança Ivaí	28,0	0:30	0:38	1:08	13.000
129	Sebastião Scapolan	Tamboara	19,0	0:27	0:34	1:01	10.500
130	Elvis A. C. de Souza	Paranavaí	17,0	0:25	0:31	0:56	10.000
131	Marizélia M. da Silva	Paranavaí	10,5	0:24	0:30	0:54	7.500
132	Irene Foratto Neves	Tamboara	14,0	0:22	0:27	0:49	15.000
133	Nailda Pierin	Paranavaí	11,0	0:17	0:21	0:38	14.000
134	Jorge Yoneyama II	Paranavaí	8,0	0:14	0:18	0:32	23.000